

Simulasi Komputer untuk Analisis Karakteristik Model Sistem Pegas- Peredam Kejut- Massa

Oegik Soegihardjo

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Simulasi komputer dalam suatu rekayasa teknik sangat membantu perancang untuk menggambarkan/memvisualisasikan karakteristik sistem yang akan dibuat. Dengan pemodelan sistem perancang bisa menganalisis karakteristik sistem pada berbagai kondisi operasi tanpa harus kehilangan banyak waktu dan biaya, karena semua proses bisa dilakukan dengan bantuan komputer.

Untuk menjamin analisis yang tepat, model matematis dari sistem yang akan dianalisis serta program komputer harus dibuat. Beberapa kasus yang diambil dari kondisi riil akan disimulasikan untuk dianalisis karakteristiknya.

Kata kunci: pegas, peredam kejut, massa, gaya pegas, gaya peredam, model matematis.

Abstract

Computer simulation in engineering will help designer to visualize characteristics of the system being designed. By modeling of the system and implement it into the computer, designer will be able to analyze characteristics of the system on any operating condition with less cost and time.

To ensure the correct analysis, mathematical model and computer programming of the system have to be developed. Data form real cases will be simulated to analyze their characteristics.

Keywords: spring, damper, mass, spring force, damping force, mathematical model.

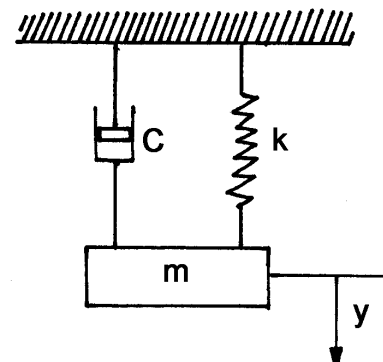
1. Pendahuluan

Sistem pegas-peredam kejut-massa banyak digunakan dalam bidang otomotif, khususnya untuk sistem suspensi. Walaupun sistem suspensi sendiri cukup beragam, namun pemahaman yang baik tentang sistem pegas-peredam kejut-massa, akan menjadi dasar untuk memahami berbagai variasi dalam sistem suspensi.

Simulasi sistem dengan menggunakan komputer sudah menjadi bagian yang sangat penting dalam proses perancangan. Dengan simulasi berbagai kondisi riil bisa diimplementasikan ke dalam model untuk dianalisis. Dengan demikian gambaran secara umum dari karakteristik sistem sudah bisa diperoleh sebelum sistemnya sendiri dibuat. Simulasi semacam ini sangat membantu dalam proses perancangan karena penghematan dari sisi waktu dan biaya.

2. Model Matematis Sistem

Sistem pegas-peredam kejut-massa dapat digambarkan sebagaimana gambar 1 berikut.



Gambar 1. Sistem Pegas-Peredam Kejut-Massa (diadopsi dari referensi 4 dan 5).

Pada sistem sebagaimana gambar 1 di atas, untuk setiap saat, gaya bersih yang bekerja pada massa m adalah gaya pegas, F_s (*spring force*) dan gaya peredam, F_d (*damping force*).

Gaya pegas besarnya sebanding dengan konstanta pegas (k) serta jarak perpindahan (vertikal) dari posisi keseimbangan (y), dan dirumuskan sebagai berikut:

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 3 Nomor 2 Oktober 2001.

$$F_s = -ky \tag{1}$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa gaya yang terjadi akan mengembalikan massa m ke posisi keseimbangan.

Gaya peredam dari peredam kejut dinyatakan sebagai berikut:

$$F_d = -c \, dy/dt \tag{2}$$

Di mana c adalah koefisien peredaman (*damping coefficient*) dan dy/dt adalah kecepatan massa m pada arah vertikal. Tanda negatif menunjukkan bahwa gaya peredam bekerja pada arah yang berlawanan dengan arah kecepatan massa m .

Hukum Newton kedua untuk sistem pegas-peredam kejut-massa dinyatakan dalam persamaan berikut (ref. 1):

$$m \, d^2y/dt^2 = -c \, dy/dt - ky \tag{3}$$

atau

$$m \, d^2y/dt^2 + c \, dy/dt + ky = 0 \tag{4}$$

Persamaan (4) merupakan persamaan defrensial linier orde kedua. Persamaan tersebut dapat juga dinyatakan dalam bentuk persamaan karakteristik sebagai berikut (ref. 3):

$$\lambda^2 + c/m \lambda + k/m = 0 \tag{5}$$

yang memiliki akar-akar sebagai berikut:

$$\lambda_{1,2} = - (c/m) + (1/2m)(c^2 - 4mk)^{0.5} \tag{6}$$

Untuk penyederhanaan, ditetapkan parameter-parameter sebagai berikut:

$$\alpha = c/2m \quad \beta = (1/2m)(c^2 - 4mk)^{0.5} \tag{7}$$

dengan demikian persamaan (6) dapat ditulis kembali dalam bentuk:

$$\lambda_1 = -\alpha + \beta \quad \lambda_2 = -\alpha - \beta \tag{8}$$

Bentuk penyelesaian persamaan (5) akan sangat tergantung pada koefisien peredaman, c (*damping coefficient*). Tiga kemungkinan yang akan terjadi berkenaan dengan harga koefisien peredaman, c adalah sebagai berikut:

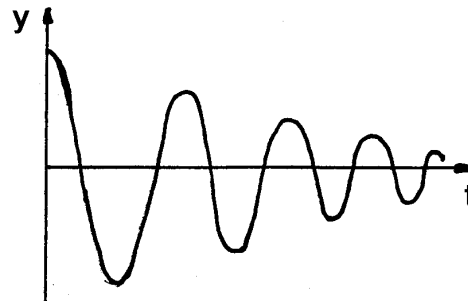
1. $c^2 > 4mk$, ada dua akar riil yang berbeda, λ_1 dan λ_2 (*overdamping*)
2. $c^2 = 4mk$, ada dua akar riil yang sama, $\lambda_1 = \lambda_2$ (*critical damping*)
3. $c^2 < 4mk$, akar imajiner (*underdamping*).

Sistem yang akan disimulasi dalam penulisan ini adalah kemungkinan yang ketiga (*underdamping*), karena kondisi seperti ini yang banyak ditemui dalam praktek rekayasa, khususnya untuk sistem suspensi otomotif. Penyelesaian (*general solution*) untuk kemungkinan yang ketiga tersebut adalah sebagai berikut:

$$y(t) = e^{-\alpha t} (y_0 \cos \omega t + y_0(\alpha/\omega)(\sin \omega t)) \tag{9}$$

dengan $\omega = (k/m - c^2/4m^2)^{0.5}$ (harus > 0).

Kurva dari persamaan (9), yang adalah penyelesaian (*general solution*) yang menggambarkan karakteristik sistem pegas-peredam kejut-massa, dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Kurva Sistem Pegas-Peredam Kejut-Massa (*underdamping*, diadopsi dari ref. 1 dan 4).

3. Pemrograman dan Data Masukan untuk Simulasi

Program yang diperlukan untuk simulasi dibuat dengan *software* Fortran77. Bagan alir program simulasi dapat dilihat di lampiran 1, sedangkan program simulasinya (*source program*) dapat dilihat di lampiran 2. Data masukan yang akan disimulasi terdiri dari tiga kasus dan akan dianalisis setelah diperoleh hasil simulasinya. Data untuk ketiga kasus tersebut hanya berbeda pada harga koefisien peredamannya.

Data masukan untuk simulasi dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data masukan untuk simulasi

Kasus	Parameter & satuan	Nilai parameter
I	Massa, m , (kg)	1100
	Konstanta pegas, k , (kg/det)	1200000
	Koefisien peredaman, c , (kg/det)	13000
	Simpangan awal, y_0 , (m)	0,2
	Waktu, t , (det)	3
	Banyaknya nilai $y(t)$ yg dihitung	60
II	Massa, m , (kg)	1100
	Konstanta pegas, k , (kg/det)	1200000
	Koefisien peredaman, c , (kg/det)	14000
	Simpangan awal, y_0 , (m)	0,2
	Waktu, t , (det)	3
	Banyaknya nilai $y(t)$ yg dihitung	60
III	Massa, m , (kg)	1100
	Konstanta pegas, k , (kg/det)	1200000
	Koefisien peredaman, c , (kg/det)	15000
	Simpangan awal, y_0 , (m)	0,2
	Waktu, t , (det)	3
	Banyaknya nilai $y(t)$ yg dihitung	60

4. Hasil Simulasi dan Analisis

Hasil simulasi komputer untuk kasus I, II dan III dengan data masukan sebagai-mana terdaftar pada tabel 1, dapat dilihat pada lampiran 3 (hasil simulasi untuk kasus I), lampiran 4 (hasil simulasi untuk kasus II) dan lampiran 5 (hasil simulasi untuk kasus III).

Pada kasus I hasil simulasi menunjukkan bahwa setelah beresilasi dengan simpangan awal (y_0) sebesar 0,2 m, sistem mencapai posisi kesetimbangan setelah 2,950 detik. Frekuensi osilasi sistem sebesar 5.42 Hz, dengan demikian mulai dari $t = 0$ detik sampai dengan $t = 2,950$ detik sistem beresilasi sebanyak kira-kira 15,7 kali.

Pada kasus II hasil simulasi menunjukkan bahwa setelah beresilasi dengan simpangan awal (y_0) sebesar 0,2 m, sistem mencapai posisi kesetimbangan setelah 2,750 detik. Frekuensi osilasi sistem sebesar 5,40 Hz. Mulai dari $t = 0$ detik sampai $t = 2,750$ detik sistem beresilasi sebanyak kira-kira 14,8 kali. Dibandingkan dengan kasus I, waktu yang diperlukan oleh kasus II untuk mencapai posisi kesetimbangan adalah 6,78 % lebih cepat.

Pada kasus III hasil simulasi menunjukkan bahwa setelah beresilasi dengan simpangan awal (y_0) sebesar 0,2 m, sistem mencapai posisi kesetimbangan setelah 2,5 detik. Frekuensi osilasi sistem sebesar 5,39 Hz. Mulai dari $t = 0$ detik sampai $t = 2,5$ detik, sistem beresilasi sebanyak kira-kira 13,5 kali. Dibandingkan dengan kasus I, waktu yang diperlukan oleh kasus III untuk mencapai posisi kesetimbangan adalah 15,25 % lebih cepat.

Dari seluruh hasil simulasi bisa dilihat bahwa dengan meningkatnya koefisien peredaman c (dengan kondisi yang lainnya tetap sama), sistem lebih cepat mencapai posisi kesetimbangan. Dalam aplikasi praktis di bidang otomotif, diinginkan agar setelah kendaraan mengalami perubahan terhadap posisi kesetimbangan (misalnya saat roda kendaraan melewati lubang), kendaraan tidak terlalu lama beresilasi/berguncang dan bisa segera mencapai posisi kesetimbangan kembali.

5. Kesimpulan

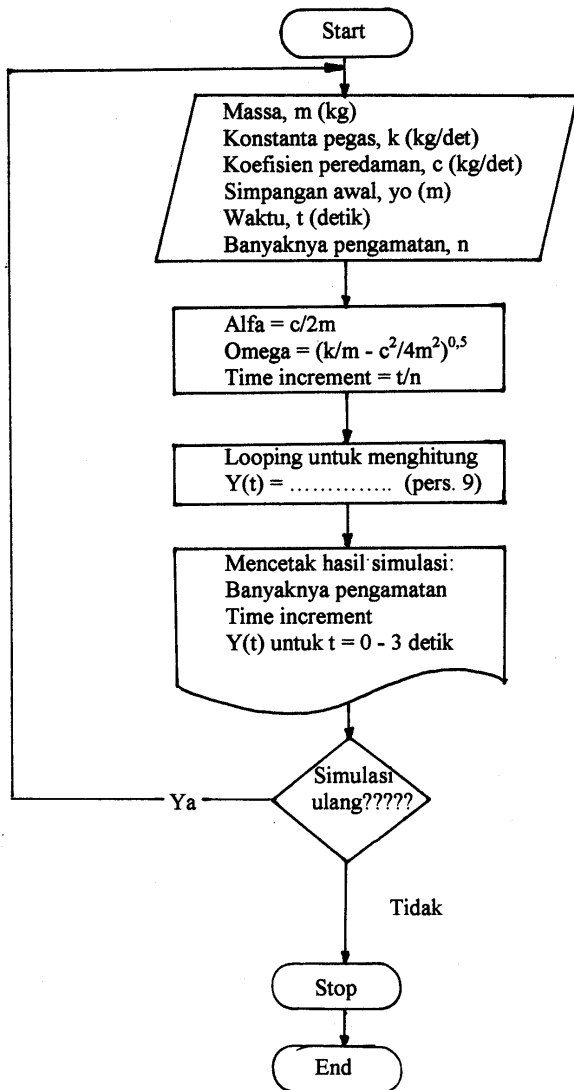
Dengan pemodelan serta pemrograman yang benar, simulasi dengan komputer bisa memberikan hasil dalam waktu yang singkat. Dari hasil simulasi sebagaimana ditunjukkan dalam tulisan ini, karakteristik dari sistem pegas-peredam kejut-massa dapat dilihat dan dianalisis dengan mudah.

Dengan perubahan harga konstanta peredaman, simulasi memberikan informasi mengenai waktu untuk mencapai posisi kesetimbangan, yaitu 2,950 detik, 2,750 detik dan 2,5 detik, berturut-turut untuk kasus I, II dan III. Frekuensi osilasi dari setiap kasus juga bisa didapatkan dari simulasi.

Daftar Pustaka

1. Chapra, S.C., and Canale, R.P., *Metode Numerik*, Jilid 1, edisi kedua. Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
2. Koffman, E.B., and Friedman, F.L., *Fortran With Engineering Application*, 5th edition, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1993.
3. Kreyzig, E., *Advanced Engineering Mathematics*, 7th edition, John Wiley & Sons Inc, New York, 1993.
4. Seto, W.W., *Theory and Problems of Mechanical Vibrations*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1964.
5. Woods, R.L., and Lawrence, K.L., *Modeling and Simulation of Dynamic Systems*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1997.

Lampiran 1. Bagan alir program simulasi sistem pegas-peredam kejut-massa



Lampiran 2. Program Simulasi (source program)

```

c Simulasi sisten pegas-peredankejut-massa
c variabel
  real inc, t, wt, e, y(100), alfa, omega
  real time(100), n, c, k, yo
  integer i, jt, cek
  parameter (e=2.71828)
c begin
  open (3,file='spring.out',status='new')
  write (*,*) 'tentukan waktu pengamatan'
100 read (*,*) wt
  write (*,*) 'tentukan jml titik evaluasi (integer,genap)'
  read (*,*) jt
  write (*,*) 'tentukan n, c dan k'
  read (*,*) n, c, k
  write (*,*) 'tentukan simpangan awal, yo'
  read (*,*) yo
  write (*,15) m
  write (3,15) m
15  format (/ ,2x,'massa (kg):',2x,f8.2)
  write (*,25) c
  write (3,25) c
25  format(2x,'koefisien peredaman (kg/det):',2x,f12.2)
  write (*,35) k
  write (3,35) k
35  format(2x,'konstanta pegas (kg/det):',2x,f10.2,/)
  write (*,*) 'HASIL SIMULASI SISTEM PEGAS-PEREDAMKEJUT-MASSA'
  write (3,*) 'HASIL SIMULASI SISTEM PEGAS-PEREDAMKEJUT-MASSA'
  write (*,*) '-----'
  write (3,*) '-----'
  write (*,*) 'pengamatan    waktu (det)    simpangan (m)'
  write (3,*) 'pengamatan    waktu (det)    simpangan (m)'
  write (*,*) '-----'
  write (3,*) '-----'
  alfa = c/(2*m)
  omega = sqrt((k/m) - (c**2/(4*m**2)))
  inc = wt/float(jt)
  t = 0.0
  do 10 i = 0, jt
    y(i)=(e**(-alfa*t))*(yo*cos(omega*t)
  + yo*(alfa/omega)*sin(omega*t))
    time(i)=t
    t = t+inc
10  continue
  do 20 j = 0, jt
    write (*,45) j, time(j), y(j)
    write (3,45) j, time(j), y(j)
45  format(6x, i2, ,10x, f6.3, 10x, f12.8)
  20  continue
  write (*,*) 'Ingin melakukan simulasi lagi? YA [1], TIDAK [0]'
  read (*,*) cek
  if (cek.eq. 1) then
    goto 100
  else
    goto 200
  endif
200 stop 'SIMULASI SISTEM SELESAI'
end
    
```

Lampiran 3. Hasil Simulasi Kasus I

massa (kg): 1100.00
 koefisien peredaman (kg/det): 13000.00
 konstanta pegas (kg/det): 1200000.00

HASIL SIMULASI SISTEM PEGAS-PEREDAMKEJUT-MASSA

pengamatan	waktu (det)	simpangan (m)
0	.000	.20000000
1	.050	.01899131
2	.100	-.11229050
3	.150	-.00149627
4	.200	.06230938
5	.250	-.00417733
6	.300	-.03417281
7	.350	.00505900
8	.400	.01851926
9	.450	-.00428967
10	.500	-.00991177
11	.550	.00317205
12	.600	.00523452
13	.650	-.00217731
14	.700	-.00272407
15	.750	.00142470
16	.800	.00139419
17	.850	-.00090104
18	.900	-.00069975
19	.950	.00055524
20	1.000	.00034293
21	1.050	-.00033506
22	1.100	-.00016300
23	1.150	.00019866
24	1.200	.00007432
25	1.250	-.00011599
26	1.300	-.00003184
27	1.350	.00006680
28	1.400	.00001227
29	1.450	-.00003798
30	1.500	-.00000374
31	1.550	.00002133
32	1.600	.00000036
33	1.650	-.00001184
34	1.700	.00000075
35	1.750	.00000650
36	1.800	-.00000094
37	1.850	-.00000352
38	1.900	.00000080
39	1.950	.00000189
40	2.000	-.00000060
41	2.050	-.00000100
42	2.100	.00000041
43	2.150	.00000052
44	2.200	-.00000027
45	2.250	-.00000027
46	2.300	.00000017
47	2.350	.00000013
48	2.400	-.00000011
49	2.450	-.00000007
50	2.500	.00000006
51	2.550	.00000003
52	2.600	-.00000004
53	2.650	-.00000001
54	2.700	.00000002
55	2.750	.00000001
56	2.800	-.00000001
57	2.850	.00000000
58	2.900	.00000001
59	2.950	.00000000
60	3.000	.00000000

Lampiran 4. Hasil Simulasi Kasus II

massa (kg): 1100.00
 koefisien peredaman (kg/det): 14000.00
 konstanta pegas (kg/det): 1200000.00

HASIL SIMULASI SISTEM PEGAS-PEREDAMKEJUT-MASSA

pengamatan	waktu (det)	simpangan (m)
0	.000	.20000000
1	.050	.02130291
2	.100	-.10738270
3	.150	-.00351087
4	.200	.05708221
5	.250	-.00226858
6	.300	-.03004468
7	.350	.00337257
8	.400	.01565624
9	.450	-.00291664
10	.500	-.00807464
11	.550	.00212726
12	.600	.00411942
13	.650	-.00142358
14	.700	-.00207714
15	.750	.00090354
16	.800	.00103393
17	.850	-.00055291
18	.900	-.00050720
19	.950	.00032927
20	1.000	.00024461
21	1.050	-.00019194
22	1.100	-.00011558
23	1.150	.00010993
24	1.200	.00005322
25	1.250	-.00006202
26	1.300	-.00002368
27	1.350	.00003454
28	1.400	.00001004
29	1.450	-.00001900
30	1.500	-.00000394
31	1.550	.00001034
32	1.600	.00000134
33	1.650	-.00000557
34	1.700	-.00000030
35	1.750	.00000297
36	1.800	-.00000005
37	1.850	-.00000157
38	1.900	.00000014
39	1.950	.00000082
40	2.000	-.00000013
41	2.050	-.00000042
42	2.100	.00000010
43	2.150	.00000022
44	2.200	-.00000007
45	2.250	-.00000011
46	2.300	.00000004
47	2.350	.00000005
48	2.400	-.00000003
49	2.450	-.00000003
50	2.500	.00000002
51	2.550	.00000001
52	2.600	-.00000001
53	2.650	-.00000001
54	2.700	.00000001
55	2.750	.00000000
56	2.800	.00000000
57	2.850	.00000000
58	2.900	.00000000
59	2.950	.00000000
60	3.000	.00000000

Lampiran 5. Hasil Simulasi Kasus III

massa (kg): 1100.00
 koefisien peredaman (kg/det): 15000.00
 konstanta pegas (kg/det): 1200000.00

HASIL SIMULASI SISTEM PEGAS-PEREDAMKEJUT-MASSA

pengamatan	waktu (det)	simpangan (m)
0	.000	.20000000
1	.050	.02356614
2	.100	-.10264980
3	.150	-.00533825
4	.200	.05225183
5	.250	-.00064939
6	.300	-.02638196
7	.350	.00201929
8	.400	.01321186
9	.450	-.00186793
10	.500	-.00656147
11	.550	.00136515
12	.600	.00323062
13	.650	-.00089741
14	.700	-.00157620
15	.750	.00055484
16	.800	.00076152
17	.850	-.00032939
18	.900	-.00036399
19	.950	.00018990
20	1.000	.00017190
21	1.050	-.00010705
22	1.100	-.00008007
23	1.150	.00005927
24	1.200	.00003669
25	1.250	-.00003232
26	1.300	-.00001648
27	1.350	.00001740
28	1.400	.00000722
29	1.450	-.00000926
30	1.500	-.00000306
31	1.550	.00000488
32	1.600	.00000123
33	1.650	-.00000255
34	1.700	-.00000046
35	1.750	.00000132
36	1.800	.00000015
37	1.850	-.00000068
38	1.900	-.00000003
39	1.950	.00000034
40	2.000	-.00000001
41	2.050	-.00000017
42	2.100	.00000001
43	2.150	.00000009
44	2.200	-.00000001
45	2.250	-.00000004
46	2.300	.00000001
47	2.350	.00000002
48	2.400	-.00000001
49	2.450	-.00000001
50	2.500	.00000000
51	2.550	.00000000
52	2.600	.00000000
53	2.650	.00000000
54	2.700	.00000000
55	2.750	.00000000
56	2.800	.00000000
57	2.850	.00000000
58	2.900	.00000000
59	2.950	.00000000
60	3.000	.00000000