

ANALISIS DAN DESAIN SISTEM KENDALI UNTUK SISTEM DINAMIS MASSA-PEGAS-PEREDAM MENGGUNAKAN SCILAB

Fikrul Akbar Alamsyah¹, Bayu Satria Wardana¹

¹Teknik Mesin Universitas Brawijaya,

Jl. MT Haryono No. 167 Malang, Jawa Timur

085649642005

fikrul@ub.ac.id

Abstract

Sistem Massa-Pegas-Peredam (Mass-Spring-Damper / MSD), merupakan contoh sederhana di bidang getaran yang dapat menunjukkan bagaimana sistem dinamis / continuous state-discrete time dapat disusun dan dimodelkan. Sistem yang dinamis adalah sistem atau proses dimana pergerakan terjadi, atau melibatkan gaya yang aktif sebagai lawan dari kondisi statis tanpa ada pergerakan. SCILAB merupakan perangkat lunak alternatif MATLAB yang semakin banyak digunakan, meskipun tersedia gratis kehandalan perangkat lunak ini tidak diragukan sehingga banyak digunakan peneliti maupun industri. SCILAB dirancang untuk menangani berbagai permasalahan numerik, dengan perangkat lunak ini sistem dinamis akan dianalisa.

Metode yang akan dipakai pada penelitian ini adalah metode eksperimental semu dengan menggunakan variasi model peredaman. Menggunakan Coulomb friction dan viscous damping akan diamati karakter masing-masing dan dibandingkan. Selain dua variasi tersebut pada masing-masing variasi akan diberikan gaya dari luar dengan tiga macam nilai yang berbeda. Dari dua variasi ini, di analisis hasil perilaku dinamis saat sebuah sistem merespon terhadap kondisi tertentu.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi perilaku sistem MSD dan responnya dengan simulasi komputer. Sehingga bisa didapatkan rekomendasi model desain sistem kendali yang sesuai. Selain itu, juga bertujuan untuk menunjukkan kemampuan pengolahan data oleh SCILAB sebagai perangkat lunak berbasis pengolahan data numerik alternatif perangkat lunak sejenis yang berbayar.

Keywords: SCILAB, mass-spring-damper, sistem kendali

PENDAHULUAN

Perkembangan industri terus meningkat sebanding dengan perubahan jaman dimana teknologi semakin canggih dan ilmu pengetahuan semakin berkembang. Penggunaan perangkat lunak untuk menyelesaikan berbagai permasalahan manusia menjadi salah satu solusi, hal ini disebabkan dengan penggunaan perangkat lunak dapat mempercepat dan menghemat waktu yang digunakan dalam membantu menganalisa berbagai permasalahan. Peran perangkat lunak sebagai alat bantu menyelesaikan permasalahan semakin besar, akan tetapi disisi lain menggunakan perangkat

lunak yang resmi membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Masyarakat umum khususnya akademisi memerlukan perangkat lunak yang handal dan murah untuk penggunaan sehari-hari baik untuk penelitian, pengabdian maupun pengajaran. Perangkat lunak yang ada saat ini cenderung mahal dan penggunaannya dibatasi dengan waktu tertentu sesuai dengan perjanjian penggunaan di awal.

Sistem Massa – Pegas – Peredam merupakan model yang sangat baik untuk mewakili berbagai kondisi lapangan yang berkaitan dengan energi. Model ini memiliki analogi lain pada berbagai domain analisa

energi. Dengan model sistem massa pegas peredam, dapat mewakili model dari suspensi mobil, struktur bangunan, sensor seismik, dan

Perangkat lunak SCILAB menunjukkan mampu digunakan untuk mendesain dan menganalisa sistem kendali *robust* untuk kondisi aktual. Perangkat lunak sejenis yang banyak digunakan masyarakat dan industri ialah MATLAB, yang membedakan ialah SCILAB merupakan perangkat lunak *open source*. Banyak penggunaan SCILAB di berbagai bidang keteknikan, antara lain pengendalian stabilitas peralatan, uji kestabilan sayap pesawat, optimalisasi penyusunan algoritma dll.

Kontrol desain dan analisa sistem kendali menggunakan SCILAB memungkinkan juga diterapkan untuk sistem massa-pegas-peredam standar. Salah satu tantangan yang perlu diselesaikan dalam menganalisa sistem tersebut ialah ketidakpastian hubungan antar parameter dan menerapkannya di dalam perangkat lunak.

Berdasarkan penjelasan yang telah dijabarkan diatas, diperlukan penelitian mengenai analisa dan desain sistem kendali untuk sistem dinamis massa-pegas-peredam (*Mass-Spring-Dumper*) menggunakan SCILAB. Penelitian menggunakan model matematika dan simulasi komputer.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian menggunakan perhitungan matematik dibantu dengan komputer (simulasi) yaitu studi untuk mencari hubungan sebab akibat dalam suatu proses melalui pengumpulan data dari berbagai sumber, kemudian data tersebut diolah dalam perhitungan menggunakan komputer dengan perangkat lunak SCILAB.

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol. Ketiga variabel penelitian dijelaskan dan dijabarkan.

Variabel bebas pada penelitian ini variabel bebasnya adalah:

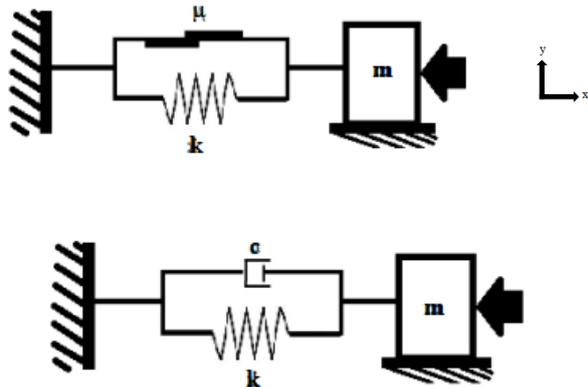
- Coulomb friction (μ): 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,125
- Viscous dumping (c): 0,25 kg/s; 0,5 kg/s; 0,75 kg/s; 1 kg/s; 1,25 kg/s.
- Penambahan gaya $F = F_0 \sin(2\pi ft)$, dengan $F_0 = 1,5N$; $2N$; $3N$.

Variabel terikat pada penelitian ini, variabel terikatnya adalah distribusi percepatan dan rasio peredaman.

berbagai bidang lainnya sehingga model sistem ini sangat penting dibidang keteknikan khususnya teknik mesin.

Variabel terkontrol dalam penelitian adalah:

- Massa: 1 kg
- Konstanta pegas: 5 N/m
- Amplitudo 1 m
- Frekuensi 4,5Hz.
- Tidak ada gaya sebelum dan sesudah menerima perlakuan.



Gambar 1. Model Fisik untuk sistem massa-pegas-peredam dengan *coulomb friction* dan *viscous dumper*.

Berdasarkan model pada gambar di atas, jika massa m dipindahkan dengan jarak x terhadap titik keseimbangan dan dilepaskan untuk bergerak bebas maka massa akan bergerak bolak balik melewati titik keseimbangan. Oleh karena itu, respon sistem untuk model dengan peredaman gesek dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_1 = \mu \cdot m \cdot g \quad (1)$$

dimana μ adalah koefisien gesek, g percepatan gravitasi.

Sedangkan respon sistem untuk model dengan peredaman *viscous* dituliskan sebagai berikut:

$$F_1 = c \cdot x' \quad (2)$$

dimana c adalah koefisien peredaman *viscous* dan x' adalah kecepatan:

Pegas pada kedua model sistem di atas memberikan respon berdasarkan jarak dari titik keseimbangan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_k = k.x \quad (3)$$

dimana k adalah konstanta pegas dan x jarak.

Massa yang bergerak pada sistem memberikan respon sebagai berikut:

$$F_m = m.x'' \quad (4)$$

dimana m adalah massa dan x perpindahan.

Persamaan keseimbangan untuk gaya-gaya yang mengenai massa m yaitu:

$$F_m = -F_k - F_l + F_T \quad (5)$$

dimana F_T adalah gaya tambahan yang diberikan pada sistem. Jika persamaan tersebut diterapkan untuk sistem dengan peredaman gesek maka didapatkan:

$$m.x'' = -k.x - \mu.m.g + F_T \quad (6)$$

Sedangkan untuk sistem dengan peredaman *viscous* yaitu:

$$m.x'' = -k.x - c.x' + F_T \quad (7)$$

Pada penelitian ini akan dicari bagaimana perilaku sistem pada beberapa kondisi, antara lain:

1. Lima macam peredaman Coulomb pada pergerakan bebas.
2. Lima macam peredaman Coulomb dengan tiga macam tambahan gaya.
3. Lima macam peredaman *Viscous* pada pergerakan bebas.
4. Lima macam peredaman *Viscous* dengan tiga macam tambahan gaya.

Pada penelitian ini akan digunakan Xcos untuk memodelkan sistem matematika yang dituliskan di atas.

Xcos merupakan bagian dari perangkat lunak SCILAB yang berfungsi untuk menyusun model sistem dinamis. Pemodelan akan menggunakan grafis, di mana Xcos terdiri atas

blok-blok diagram dengan fungsi tertentu. Kumpulan diagram blok-blok ini tersimpan pada menu *palette browser*.

Xcos pada *palette browser* menyediakan banyak blok-blok dengan fungsi dasar yang disimpan berdasarkan fungsinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

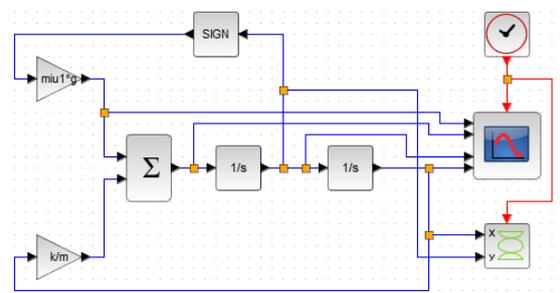
Untuk variasi perlakuan yang pertama yaitu Lima macam peredaman Coulomb pada pergerakan bebas. Pada tulisan ini akan ditunjukkan salah satu hasil simulasi yaitu pada variasi mu yang pertama. Massa akan diberikan perpindahan sejauh satu satuan jarak dan kemudian dilepaskan dan di amati saat sistem bergerak bolak balik. Kondisi awal (*initial condition*) berupa perpanjangan / perpindahan $x = 1$ dan kecepatan $x' = 0$. Persamaan enam dapat dikembangkan sebagai berikut:

$$x'' = -k/m.x - \mu.g \quad (8)$$

Persamaan tersebut akan dimodelkan dengan Xcos dengan kriteria sebagai berikut:

- Dua buah GAIN_f
- Dua buah INTEGRAL_f
- Satu buah BIGSOM_f
- Satu buah CMSCOPE
- Satu buah CSCOPXY
- Satu buah CLOCK_c

Selanjutnya disusun sebagai berikut:

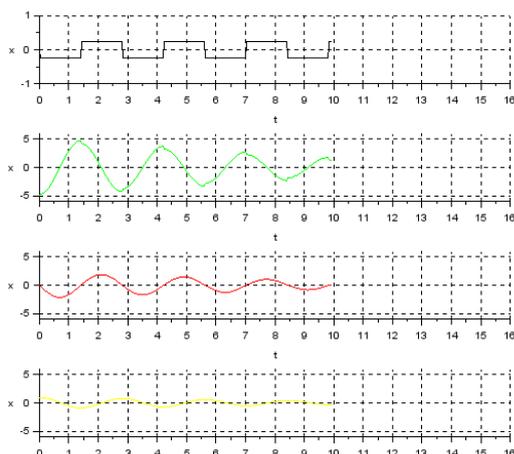


Gambar 2. Skema blok diagram untuk sistem massa-pegas-peredam dengan *coulomb friction*.

Terdapat dua buah GAIN_f yang masing-masing berisi $\mu.g$ dan k/m . Blok BIGSOM_f dengan nilai atau kondisi minus (*inverting*), karena nilai untuk *gain* masing-masing negatif pada persamaan matematika. Dua buah blok INTEGRAL_f untuk mendapatkan nilai kecepatan dan perpanjangan (derivatif), dengan blok pertama $x' = 0$ dan $x = 1$. Blok CLOCK_c sebagai pengatur waktu untuk setiap langkah. CMSCOPE dan CSCOPXY untuk menampilkan grafik. Blok SIGN untuk menunjukkan apakah hasilnya negatif atau positif.

Simulasi menghasilkan tampilan beberapa grafik pada sebuah jendela (CMSCOPE menghasilkan grafik percepatan, kecepatan, dan perpindahan) sedangkan CSCOPXY menghasilkan fase dari gerak bolak-balik sistem secara dua dimensi.

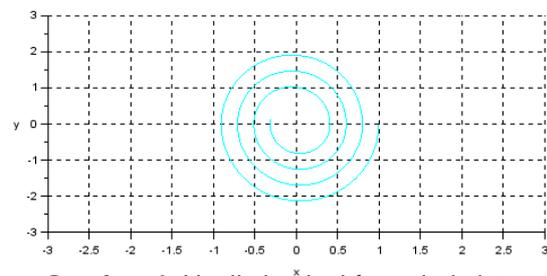
Pada gambar 3, untuk grafik yang pertama menghasilkan perubahan tanda x' , menunjukkan tanda (+/-) seiring waktu berubah-ubah. Perubahan tanda tersebut menunjukkan kondisi saat sistem sedang bolak-balik di antara titik keseimbangan / saat osilasi.



Gambar 3. Hasil simulasi respon untuk sistem massa-pegas-peredam (*coulomb friction*).

Pada grafik yang kedua menunjukkan proses perubahan dari percepatan atau x'' . Sedangkan untuk grafik yang ketiga menunjukkan perubahan dari kecepatan x' dan

grafik yang terakhir menunjukkan proses perubahan dari posisi x .



Gambar 4. Hasil simulasi fase dari sistem massa-pegas-peredam (*coulomb friction*) tanpa penambahan gaya.

Simulasi fase dari sistem menunjukkan nilai awal, $x = 1$ dan $x' = 0$. Hal ini seperti massa (m) diberikan perpindahan sejauh 1 satuan jarak. Setelah diberi perpindahan, massa dilepaskan dan dibiarkan bergerak bolak-balik di antara titik keseimbangan. Pada saat awal pergerakan, sistem memiliki kecepatan nol sedangkan percepatan tidak sama dengan nol. Percepatan nilainya negatif seperti tampak pada gambar karena massa bergerak ke arah kiri.

Untuk variasi perlakuan yang kedua yaitu lima macam peredaman *Viscous* pada pergerakan bebas. Pada tulisan ini akan ditunjukkan salah satu hasil simulasi yaitu pada variasi c yang pertama. Massa akan diberikan perpindahan sejauh satu satuan jarak dan kemudian dilepaskan dan di amati saat sistem bergerak bolak balik. Kondisi awal (*initial condition*) berupa perpanjangan / perpindahan $x = 1$ dan kecepatan $x' = 0$. Persamaan enam dapat dikembangkan sebagai berikut:

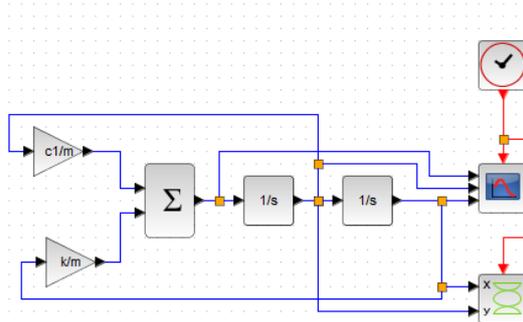
$$x'' = -k/m.x - c/m.x' \quad (9)$$

Pada kondisi ini agar dapat memodelkan persamaan matematika di atas maka dibutuhkan blok diagram sebagai berikut:

- Dua buah GAIN_f
- Dua buah INTEGRAL_f
- Satu buah BIGSOM_f
- Satu buah CMSCOPE
- Satu buah CSCOPXY

➤ Satu buah CLOCK_c

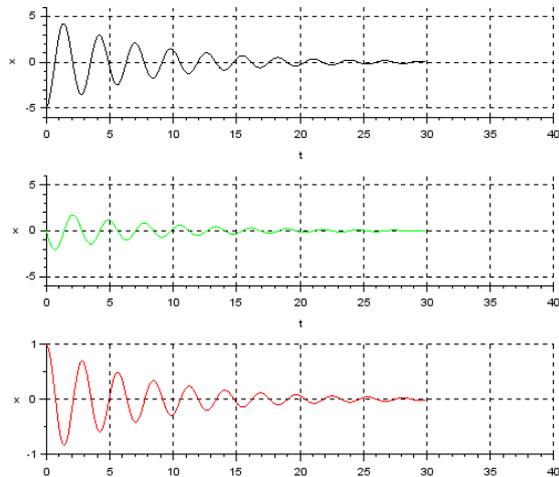
Selanjutnya disusun sebagai berikut:



Gambar 5. Skema blok diagram untuk sistem massa-pegas-peredam dengan peredam *viscous*.

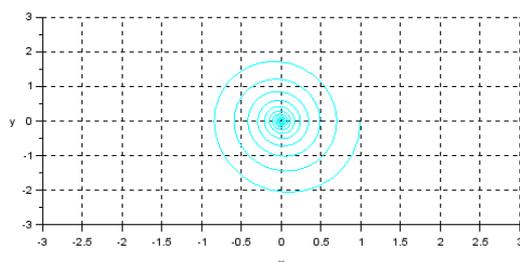
Terdapat dua buah GAIN_f yang masing-masing berisi c/m dan k/m . Blok BIGSOM_f dengan nilai atau kondisi minus (*inverting*), karena nilai untuk *gain* masing-masing negatif pada persamaan matematika. Dua buah blok INTEGRAL_f untuk mendapatkan nilai kecepatan dan perpanjangan (derivatif), dengan blok pertama $x' = 0$ dan $x = 1$. Blok CLOCK_c sebagai pengatur waktu untuk setiap langkah. CMSCOPE dan CSCOPXY untuk menampilkan grafik.

Simulasi menghasilkan tampilan beberapa grafik pada sebuah jendela (CMSCOPE menghasilkan grafik percepatan, kecepatan, dan perpindahan) sedangkan CSCOPXY menghasilkan fase dari gerak bolak-balik sistem secara dua dimensi.



Gambar 6. Hasil simulasi respon untuk sistem massa-pegas-peredam (*viscous dumping*).

Pada grafik yang pertama menunjukkan proses perubahan dari percepatan atau x'' . Sedangkan untuk grafik yang kedua menunjukkan perubahan dari kecepatan x' dan grafik yang terakhir menunjukkan proses perubahan dari posisi x .



Gambar 7. Hasil simulasi fase dari sistem massa-pegas-peredam (*viscous dumping*) tanpa penambahan gaya.

Simulasi fase dari sistem menunjukkan nilai awal, $x = 1$ dan $x' = 0$. Hal ini seperti massa (m) diberikan perpindahan sejauh 1 satuan jarak. Setelah diberi perpindahan, massa dilepaskan dan dibiarkan bergerak bolak-balik di antara titik keseimbangan.

Pada saat awal pergerakan, sistem memiliki kecepatan nol sedangkan percepatan tidak sama dengan nol. Percepatan nilainya negatif seperti tampak pada gambar karena massa bergerak ke arah kiri.

Untuk variasi perlakuan yang ketiga yaitu lima macam peredaman *coulomb* dengan tambahan gaya. Massa akan diberikan perpindahan sejauh satu satuan jarak dan sesaat sebelum dilepaskan diberikan tambahan gaya dengan frekuensi 4,5Hz. Penambahan gaya ada tiga macam yaitu 1,5N; 2N dan 3N, akan ditunjukkan pada penambahan gaya yang pertama. Setelah diberikan tambahan gaya kemudian di amati saat sistem bergerak bolak balik.

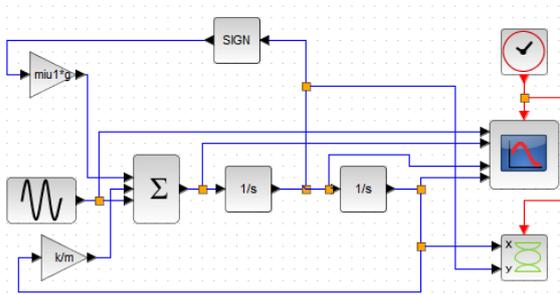
Kondisi awal (*initial condition*) berupa perpanjangan / perpindahan $x = 1$ dan kecepatan $x' = 0$. Persamaan enam dapat dikembangkan sebagai berikut:

$$x'' = -k/m \cdot x - \mu \cdot g + F_0/m \cdot \sin(2\pi f t) \quad (10)$$

Persamaan tersebut akan dimodelkan dengan Xcos dengan kriteria sebagai berikut:

- Dua buah GAIN_f
- Dua buah INTEGRAL_f
- Satu buah BIGSOM_f
- Satu buah CMSCOPE
- Satu buah CSCOPXY
- Satu buah CLOCK_c
- Satu buah GENSIN_f

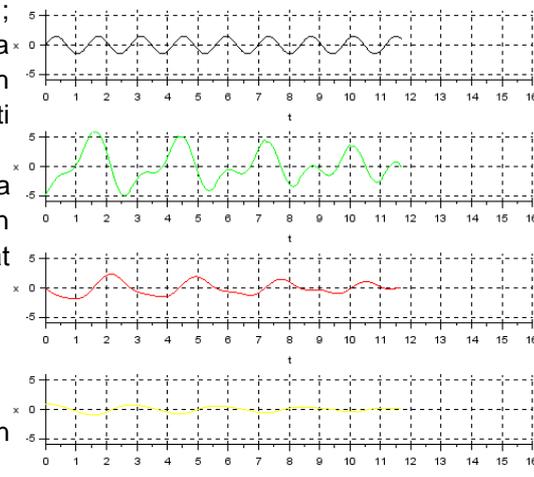
Selanjutnya disusun sebagai berikut:



Gambar 8. Skema blok diagram untuk sistem massa-pegas-peredam dengan peredam *coulomb* dan tambahan gaya.

Pada perlakuan berikutnya, pada skema blok diagram ditambahkan *sinusoid generator*. Blok diagram ini berfungsi sebagai penambah gaya pada sistem.

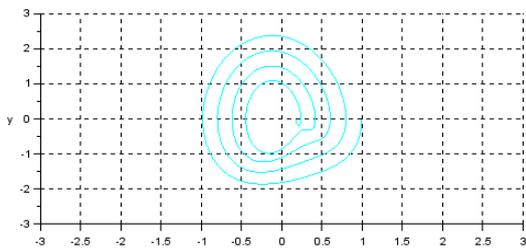
Simulasi menghasilkan tampilan beberapa grafik pada sebuah jendela (CMSCOPE menghasilkan grafik percepatan, kecepatan, dan perpindahan) sedangkan CSCOPXY menghasilkan fase dari gerak bolak-balik sistem secara dua dimensi.



Gambar 9. Hasil simulasi respon untuk sistem massa-pegas-peredam (*coulomb dumping*) dengan tambahan gaya.

Pada gambar 9, untuk grafik yang pertama menghasilkan perubahan tanda x'' , menunjukkan tanda (+/-) seiring waktu berubah-ubah. Perubahan tanda tersebut menunjukkan kondisi saat sistem sedang bolak-balik di antara titik keseimbangan / saat osilasi.

Pada grafik yang kedua menunjukkan proses perubahan dari percepatan atau x'' . Sedangkan untuk grafik yang ketiga menunjukkan perubahan dari kecepatan x' dan grafik yang terakhir menunjukkan proses perubahan dari posisi x .



Gambar 10. Hasil simulasi fase dari sistem massa-pegas-peredam (*coulomb damping*) dengan penambahan gaya.

Simulasi fase dari sistem menunjukkan nilai awal, $x = 1$ dan $x' = 0$. Hal ini seperti massa (m) diberikan perpindahan sejauh 1 satuan jarak. Setelah diberi perpindahan, massa dilepaskan dan dibiarkan bergerak bolak-balik di antara titik keseimbangan.

Pada saat awal pergerakan, sistem memiliki kecepatan nol sedangkan percepatan tidak sama dengan nol. Percepatan nilainya negatif seperti tampak pada gambar karena massa bergerak ke arah kiri.

Untuk variasi perlakuan yang keempat yaitu lima macam peredaman *viscous* dengan tambahan gaya. Massa akan diberikan perpindahan sejauh satu satuan jarak dan sesaat sebelum dilepaskan diberikan tambahan gaya dengan frekuensi 4,5Hz. Penambahan gaya ada tiga macam yaitu 1,5N; 2N dan 3N, akan ditunjukkan pada penambahan gaya yang pertama. Setelah diberikan tambahan gaya kemudian di amati saat sistem bergerak bolak balik.

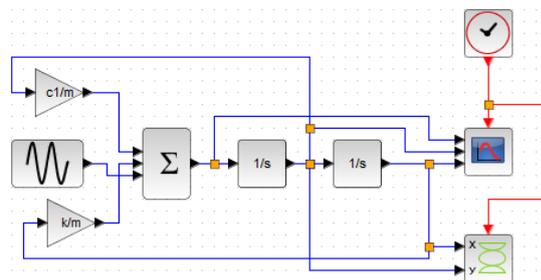
Kondisi awal (*initial condition*) berupa perpanjangan / perpindahan $x = 1$ dan kecepatan $x' = 0$. Persamaan enam dapat dikembangkan sebagai berikut:

$$x'' = -k/m \cdot x - c/m + F_0/m \cdot \sin(2\pi ft) \tag{11}$$

Persamaan tersebut akan dimodelkan dengan Xcos dengan kriteria sebagai berikut:

- Dua buah GAIN_f
- Dua buah INTEGRAL_f
- Satu buah BIGSOM_f
- Satu buah CMSCOPE
- Satu buah CSCOPXY

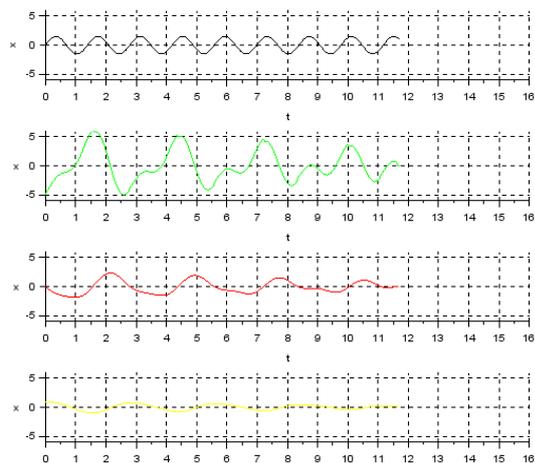
- Satu buah CLOCK_c
 - Satu buah GENSIN_f
- Selanjutnya disusun sebagai berikut:



Gambar 11. Skema blok diagram untuk sistem massa-pegas-peredam dengan peredam *viscous* dan tambahan gaya.

Pada perlakuan berikutnya, pada skema blok diagram ditambahkan *sinusoid generator*. Blok diagram ini berfungsi sebagai penambah gaya pada sistem.

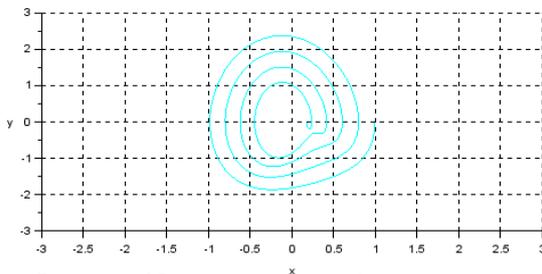
Simulasi menghasilkan tampilan beberapa grafik pada sebuah jendela (CMSCOPE menghasilkan grafik percepatan, kecepatan, dan perpindahan) sedangkan CSCOPXY menghasilkan fase dari gerak bolak-balik sistem secara dua dimensi.



Gambar 12. Hasil simulasi respon untuk sistem massa-pegas-peredam (*viscous damping*) dengan tambahan gaya.

Pada gambar 9, pada grafik yang pertama menunjukkan proses perubahan dari percepatan atau x'' . Sedangkan untuk grafik yang kedua menunjukkan perubahan dari

kecepatan x' dan grafik yang terakhir menunjukkan proses perubahan dari posisi x .



Gambar 13. Hasil simulasi fase dari sistem massa-pegas-peredam (*viscous damping*) dengan penambahan gaya.

Simulasi fase dari sistem menunjukkan nilai awal, $x = 1$ dan $x' = 0$. Hal ini seperti massa (m) diberikan perpindahan sejauh 1 satuan jarak.

Setelah diberi perpindahan, massa dilepaskan dan dibiarkan bergerak bolak-balik di antara titik keseimbangan.

Pada saat awal pergerakan, sistem memiliki kecepatan nol sedangkan percepatan tidak sama dengan nol. Percepatan nilainya negatif seperti tampak pada gambar karena massa bergerak ke arah kiri.

KESIMPULAN

1. Analisis sistem kendali dapat menggunakan Xcos yang merupakan bagian dari SCILAB.
2. Pemodelan sistem dinamis dapat dilakukan dengan sederhana dan sistematis dengan Xcos.
3. Pemodelan matematis dapat dilanjutkan dengan model secara visual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gillich GR, Chioncel CP, 2005, *Simulation of Dynamical Systems With Linear and Non-linear Behaviour in Scicos Environment*, The Annals of "Dunarea De Jos" University of Galaty, FASCICLE XIV, pp.55.
- [2] Sastri OSKS, 2014, *Model base Simulation of Forced Oscillator using Open Source Application Xcos: A Constructivist*

Paradigm, IJISSET, India, Vol 1 Issue 8, pp.93.

- [3] Kim Y., *Robust Control Design and Analysis Using SCILAB for a Mass-Spring-Damper System*, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol.8 No.1, pp.16.
- [4] Pereira DSP, Kurcbart SM, Nepomuceno EG, *Using SCILAB for nonlinear dynamic systems*, COBEM, Ouro Preto.