



**ANALISIS MODEL GETARAN PEGAS TEREDAM DENGAN METODE
ADAMS-BASFORTH-MOULTON DAN RUNGE-KUTTA**

SKRIPSI

oleh

**Ika Nurul Hanifah
NIM 081810101025**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**ANALISIS MODEL GETARAN PEGAS TEREDAM DENGAN METODE
ADAMS-BASFORTH-MOULTON DAN RUNGE-KUTTA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)
dan mencapai gelar sarjana Sains

oleh

**Ika Nurul Hanifah
NIM 081810101025**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, dengan puji syukur kehadirat Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Mat Rawi dan Ibunda Yayuk Lis Mugi Rahayu, yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan pengorbanan selama ini;
2. Ir. Kaswinto dan Endah Sobariah S.pd serta adik tersayang Arina Amalia Putri yang selalu memberikan motivasi dan kebahagiaan;
3. Mbah Kung Lasidjo, Mbah Putri Rukayah, Mbh Yut Sadi (Alm), Mbh Yut Tarning, Bulek Luluk, Paklek Sarino, Adik Ima, Mas Andik, Mas Budi, Mas Taufik dan semua keluarga di Bojonegoro yang selalu memberikan semangat;
4. Guru-guru sejak Taman Kanak-Kanak hingga perguruan tinggi, yang telah banyak memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
5. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTTO

“Ilmu ibarat cahaya yang menerangi jalan manusia. Ilmu ibarat mata air yang menghilangkan dahaga. Hadirnya ilmu menyirnakan kegelapan, hadirnya ilmu mengusir kebodohan.”^{*)}

^{*)} Fidi Mahendra. 2010. *Winner of Love: Jalan Cinta Para Pemenang*. Yogyakarta: Pustaka Zeedny.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Ika Nurul Hanifah

NIM : 081810101025

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Model Getaran Pegas Teredam dengan Metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta” adalah benar-benar hasil karya sendiri kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2013

Yang menyatakan,

Ika Nurul Hanifah

NIM 081810101025

SKRIPSI

**ANALISIS MODEL GETARAN PEGAS TEREDAM DENGAN METODE
ADAMS-BASHFORTH-MOULTON DAN RUNGE- KUTTA**

Oleh:
Ika Nurul Hanifah
NIM 081810101025

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Rusli Hidayat, M.Sc
Dosen Pembimbing Anggota : Kusbudiono, S.Si, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Model Getaran Pegas Teredam dengan Metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji,

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.
NIP 196610121993031001

Kusbudiono, S.Si., M.Si
NIP 197704302005011001

Anggota I

Anggota II

Kiswara Agung Santoso, M.Si., M.Kom
NIP 197209071998031003

Ahmad Kamsyakawuni, S.Si., M.Kom
NIP 197211291998021001

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.
NIP 196101081986021001

RINGKASAN

Analisis Model Getaran Pegas Terebam dengan Metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta; 081810101025; 2013; 38 halaman; Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.

Getaran merupakan salah satu bentuk gerak benda yang cukup banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, misalnya bagaimana getaran yang terjadi jika sebuah beban dikaitkan atau digantungkan pada sebuah pegas. Berdasarkan contoh tersebut dapat diketahui bahwa getaran dapat terjadi jika suatu sistem diganggu dari posisi kesetimbangan stabilnya. Getaran ini akan terjadi secara terus menerus dan berulang-ulang selama sistem mendapatkan gaya. Gerak getaran benda yang terjadi secara terus menerus dan tidak terdapat faktor hambatan atau redaman biasanya disebut sebagai gerak harmonik sederhana. Karakteristik gerak harmonik sederhana adalah memiliki amplitudo dengan nilai tetap. Akan tetapi, pada kenyataannya suatu gerak getaran pada benda tidak akan terjadi secara terus menerus karena terdapat faktor hambatan berupa gaya gesek udara dan faktor internal yang menyebabkan gerak getaran yang terjadi perlahan-lahan berkurang terhadap waktu dan akhirnya berhenti. Gerak getaran benda yang demikian biasanya disebut sebagai gerak harmonik teredam.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelesaikan model getaran pegas dengan teredam secara numerik menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton (ABM) dan Runge-Kutta order empat (RK4). Hasil penyelesaian yang diperoleh secara numerik tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengetahui profil dari getaran pegas. Selain itu, tujuan akhir adalah mengetahui perbandingan hasil penyelesaian model getaran pegas teredam antara metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat dengan solusi analitik sebagai indikatornya.

Pada penelitian ini terdapat beberapa langkah yang akan dilakukan. Langkah yang pertama adalah menentukan model getaran pegas dengan faktor redaman yang akan diselesaikan secara numerik menggunakan skema RK4 dan ABM. Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi program dengan memvariasikan nilai parameter untuk massa beban, nilai redaman dan kecepatan awal. Langkah terakhir adalah menganalisis hasil simulasi untuk mengetahui profil getaran pegas dan membandingkan hasil simulasi antara metode RK4 dan Metode ABM terhadap metode analitik untuk mengetahui diantara metode RK4 dan metode ABM, metode manakah yang lebih baik dalam menyelesaikan model getaran pegas teredam.

Analisis hasil simulasi menggunakan metode RK4 dan ABM menunjukkan bahwa dengan memvariasikan nilai parameter untuk massa beban, nilai redaman dan kecepatan awal dapat mempengaruhi gerak getaran pegas. Semakin besar massa beban yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan semakin cepat gerak getaran pegas untuk mencapai posisi kesetimbangan. Semakin besar nilai redaman yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan gerak getaran pegas semakin cepat untuk mencapai posisi kesetimbangan. Sedangkan semakin kecil nilai kecepatan awal yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan semakin cepat gerak getaran pegas untuk mencapai posisi kesetimbangan. Analisis hasil simulasi verifikasi antara metode numerik dan analitik menunjukkan bahwa galat (*error*) yang dihasilkan oleh metode RK4 adalah $6,68 \times 10^{-10}$. Sedangkan metode ABM adalah $2,62 \times 10^{-9}$. Galat metode RK4 lebih kecil dari metode ABM. Waktu komputasi yang dibutuhkan oleh metode RK4 untuk menyelesaikan model getaran pegas teredam lebih cepat dibandingkan metode ABM. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa metode RK4 lebih baik jika dibandingkan dengan metode ABM dalam menyelesaikan model getaran pegas dengan teredam.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Model Getaran Pegas dengan Tere-dam dengan Metode Adams Bashforth Moulton dan Runge Kutta. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Drs. Rusli Hidayat, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Utama dan Kusbudiono, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Kiswara Agung Santosa, S.Si., M.Kom selaku Dosen Penguji I dan Ahmad Kamsyakawuni S.Si., M.Kom selaku Dosen Penguji II yang telah memberi masukan terhadap skripsi ini;
3. Ika Hesti Agustin, S.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Bapak Mat Rawi dan Ibu Yayuk Lis Mugi Rahayu yang selalu memberikan doa dan kasih sayang serta motivasi kepada penulis;
5. Semua dosen Jurusan Matematika yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis;
6. Arif, Haerudin, Santhi, Ria, Puphus dan angkatan 2008 yang telah memberikan dukungan dan semangatnya;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 7 Januari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN BIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Persamaan Diferensial	4
2.2 Persamaan Diferensial dengan Order Lebih dari Satu...	5
2.3 Gerak Getaran Pegas	5
2.3.1 Gerak Harmonik Sederhana	6
2.3.2 Gerak Harmonik Teredam.....	9
2.3.3 Gerak Harmonik Teredam dengan Gaya Luar	11
2.4 Metode Numerik	12
2.5 Kesalahan Numerik	12
2.6 Metode Runge-Kutta Order Empat	13

2.7 Metode Adams-Basforth-Moulton	14
2.7.1 Metode Adams-Basforth Order Tiga.....	14
2.7.2 Metode Adams-Moulton Order Empat.....	15
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	16
BAB 4. PEMBAHASAN	21
4.1 Penyelesaian Model Secara Numerik	21
4.1.1 Penyelesaian Model dengan Skema RK4.....	21
4.1.2 Penyelesaian Model dengan Skema ABM.....	23
4.2 Tampilan Program	24
4.3 Simulasi Program	26
4.3.1 Simulasi Getaran Pegas dengan Variasi Massa	26
4.3.2 Simulasi Getaran Pegas dengan Variasi Nilai Redaman	28
4.3.3 Simulasi Getaran Pegas dengan Variasi	
Kecepatan Awal	29
4.3.4 Verifikasi Solusi Numerik dan Solusi Analitik.....	31
4.4 Analisis Hasil Simulasi	33
4.4.1 Analisis Hasil Simulasi dengan Variasi Massa beban..	33
4.4.2 Analisis Hasil Simulasi dengan Variasi Nilai Redaman	34
4.4.3 Analisis Hasil Simulasi Getaran Pegas dengan	
Variasi Kecepatan Awal	34
4.4.4 Analisis Hasil Verifikasi Solusi Numerik	
dengan Solusi Analitik.....	34
BAB 5. PENUTUP	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Pegas vertikal (a) tanpa beban; (b) dengan beban dan mencapai posisi kesetimbangan dan (c) dengan beban dan terdapat suatu gaya tarik $f(t)$	7
2.2 Sistem pegas massa teredam dan diagram benda bebas	10
3.1 Pegas vertikal (a) tanpa beban; (b) dengan beban dan mencapai posisi setimbang dan (c) dengan beban dan terdapat gaya tarik.....	17
3.2 Skema metode penelitian.....	19
4.1 Tampilan GUI program getaran pegas.....	23
4.4 Profil getaran pegas untuk variasi massa beban dengan RK4.....	26
4.5 Profil getaran pegas untuk variasi massa beban dengan ABM	26
4.6 Profil getaran pegas untuk variasi nilai redaman dengan RK4	27
4.7 Profil getaran pegas untuk variasi nilai redaman dengan ABM.....	28
4.8 Profil getaran pegas untuk variasi kecepatan awal dengan RK4	29
4.9 Profil getaran pegas untuk variasi kecepatan awal dengan ABM.....	29
4.10 Verifikasi solusi numerik dan solusi analitik	31
4.11 Galat (<i>error</i>) dari metode RK4 dan ABM.....	31

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Getaran merupakan salah satu bentuk gerak benda yang cukup banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, misalnya bagaimana getaran yang terjadi jika sebuah beban dikaitkan atau digantungkan pada sebuah pegas. Contoh yang lain adalah bandul jam yang berayun kekanan dan kekiri, perahu kecil yang berayun naik turun, piringan dalam jam beker yang memuntir, osilasi molekul udara dalam gelombang bunyi dan senar alat musik yang dipetik. Berdasarkan contoh tersebut dapat diketahui bahwa getaran dapat terjadi jika suatu sistem diganggu dari posisi kesetimbangan stabilnya. Getaran ini akan terjadi secara terus menerus dan berulang-ulang selama sistem mendapatkan gaya. Gerak getaran benda yang berulang dengan waktu yang tetap biasanya disebut sebagai gerak periodik (Tipler, 1998).

Gerak getaran benda yang terjadi secara terus menerus dan tidak terdapat faktor hambatan atau redaman biasanya disebut sebagai gerak harmonik sederhana. Karakteristik gerak harmonik sederhana adalah memiliki amplitudo dengan nilai tetap. Amplitudo merupakan simpangan maksimum dari posisi kesetimbangan. Akan tetapi, pada kenyataannya suatu gerak getaran pada benda tidak akan terjadi secara terus menerus karena terdapat faktor hambatan berupa gaya gesek udara dan faktor internal yang menyebabkan gerak getaran yang terjadi perlahan-lahan berkurang terhadap waktu dan akhirnya berhenti. Gerak getaran benda yang demikian biasanya disebut sebagai gerak harmonik teredam. Pada gerak harmonik teredam, gaya yang bekerja berkurang secara terus menerus sehingga amplitudo getaran berkurang sampai getaran berhenti (Giancoli, 1997).

Hadiansyah (2007) telah mengkaji profil getaran pegas dengan pengaruh faktor redaman dan gaya luar. Dalam kajian tersebut, dilengkapi dengan visualisasi

dari persamaan getaran pegas dengan menggunakan *Software Maple*. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan getaran pegas dengan faktor redaman dan gaya luar pada kajian tersebut adalah dengan menggunakan metode analitik. Akan tetapi, tidak semua permasalahan dapat diselesaikan dengan metode analitik sehingga diperlukan metode alternatif perhitungan secara numerik untuk mendapatkan penyelesaian dari persamaan tersebut.

Prihandini (2012) telah mengkaji solusi persamaan gelombang Korteweg-De Vries (KdV) dengan menggunakan metode Prediktor-Korektor dan metode Runge-Kutta order empat. Pada kajian tersebut disimpulkan bahwa metode Runge-kutta order empat lebih akurat jika dibandingkan dengan metode Prediktor-Korektor, hal ini dapat dilihat berdasarkan tingkat kesalahan numerik yang dihasilkan. Metode Runge-Kutta order empat juga lebih efisien jika dibandingkan dengan metode Prediktor-Korektor, hal ini dapat dilihat berdasarkan kecepatan waktu iterasi.

Berdasarkan uraian diatas menarik untuk dikaji perhitungan secara numerik dari persamaan getaran pegas teredam. Dalam penelitian ini, metode perhitungan secara numerik yang digunakan untuk menganalisis persamaan getaran pegas teredam adalah metode Adams-Basforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat. Penyelesaian numerik yang dihasilkan dapat digunakan untuk menganalisis profil getaran pegas teredam tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. bagaimana menyelesaikan model getaran pegas teredam secara numerik menggunakan metode Adams-Basforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat ?
- b. bagaimana analisis profil getaran pegas teredam yang diselesaikan secara numerik menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat ?
- c. bagaimana perbandingan hasil penyelesaian antara metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat dengan solusi analitik sebagai

indikatornya (Metode dikatakan semakin baik jika semakin mendekati solusi analitik) ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. model getaran pegas teredam yang digunakan mengacu pada penelitian Hadiansyah (2007).
- b. pegas dianggap tidak akan pernah putus.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. menyelesaikan model getaran pegas teredam secara numerik menggunakan metode Adams-Basforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat.
- b. mengetahui profil getaran pegas teredam yang diselesaikan secara numerik menggunakan metode Adams-Basforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat.
- c. mengetahui perbandingan hasil penyelesaian model getaran pegas teredam antara metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat dengan solusi analitik sebagai indikatornya.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah dapat diketahui solusi numerik dari model getaran pegas teredam dan profil getaran pegas teredam melalui analisis solusi numerik yang didapatkan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Runge-Kutta order empat serta dapat memberikan informasi mengenai metode terbaik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan model getaran pegas teredam.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial adalah suatu persamaan yang menghubungkan variabel bebas, variabel terikat dan turunan-turunan variabel terikat terhadap variabel bebas. Persamaan diferensial juga dapat diartikan sebagai suatu persamaan yang didalamnya terdapat turunan-turunan. Jika variabel terikat suatu persamaan diferensial tergantung pada satu variabel bebas, maka persamaan tersebut dinamakan persamaan diferensial biasa (PDB). Sedangkan jika suatu persamaan diferensial memuat dua atau lebih variabel bebas, maka persamaan tersebut dinamakan persamaan diferensial parsial (PDP).

Berikut contoh persamaan diferensial biasa dan persamaan diferensial parsial:

$$\frac{dx}{dt} = tx + 5$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2t^2 = 0$$

$$\frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial x}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial^2 x}{\partial s^2} + \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0$$

Jika terdapat suatu fungsi $x(t)$ yang merupakan fungsi satu variabel, dengan t sebagai variabel bebas dan x sebagai variabel terikat, maka suatu persamaan diferensial biasa dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$F(t, x, x', x'', \dots, x^n) = 0$$

Tingkat atau order dari persamaan diferensial dapat didefinisikan sebagai turunan tertinggi yang terdapat pada persamaan diferensial. Selain order suatu persamaan diferensial, terdapat istilah lain yang sering digunakan dalam persamaan

diferensial yaitu linier dan non linier. Persamaan diferensial dikatakan linier jika semua suku-suku variabel terikat dan turunan-turunannya dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dengan koefisien-koefisien yang bebas dari variabel terikat (Hidayat, 2006). Secara umum persamaan diferensial biasa linier dapat dinyatakan dengan

$$a_0(t)x^n + a_1(t)x^{(n-1)} + \dots + a_n(t)x = f(t)$$

(Waluya, 2006).

2.2 Persamaan Diferensial dengan Order Lebih dari Satu

Persamaan diferensial dengan order lebih dari satu dapat diubah menjadi sistem persamaan diferensial order satu dan dapat diselesaikan dengan beberapa metode penyelesaian secara numerik seperti metode Runge-Kutta order empat (RK4) dan Adams-Bashforth-Moulton (ABM).

Contoh persamaan diferensial dengan order lebih dari satu adalah sebagai berikut:

$$\frac{d^3x}{dt^3} + \frac{d^2x}{dt^2} - \frac{dx}{dt} + x = 0$$

Misalkan $x = u_1$, $\frac{dx}{dt} = u_2$ dan $\frac{d^2x}{dt^2} = u_3$. Maka diperoleh persamaan-persamaan

$$\frac{du_3}{dt} = -u_3 + u_2 - u_1 = f_1(t, u_1, u_2, u_3)$$

$$\frac{du_2}{dt} = u_3 = f_2(t, u_1, u_2, u_3)$$

$$\frac{du_1}{dt} = u_2 = f_3(t, u_1, u_2, u_3)$$

yang merupakan sistem persamaan diferensial order satu (Sahid, 2006).

2.3 Gerak Getaran Pegas

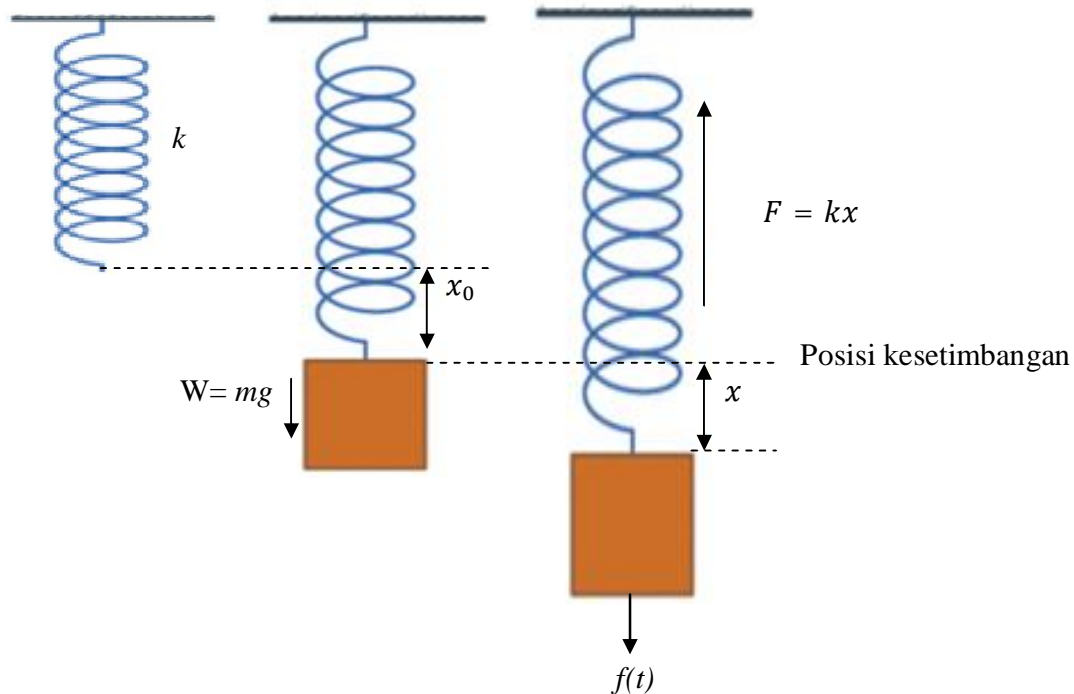
Getaran dapat didefinisikan sebagai gerak bolak balik suatu benda yang terjadi secara periodik atau berkala yaitu gerak benda tersebut berulang pada selang waktu yang tetap (Soedjojo, 1999). Gerak benda yang terjadi secara periodik

biasanya disebut sebagai gerak harmonik (Halliday, 1985). Salah satu contoh gerak harmonik yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah gerak getaran pada pegas. Gerak getaran pada pegas akan terjadi jika terdapat gaya yang bekerja pada pegas tersebut. Beberapa gaya yang mempengaruhi gerak getaran pada pegas yaitu gaya gravitasi bumi, gaya tarik pegas, gaya gesek dan gaya luar (Dafik, 1999).

Gerak getaran pada pegas dapat dibedakan menjadi gerak harmonik sederhana, gerak harmonik teredam dan gerak harmonik teredam dengan faktor luar.

2.3.1 Gerak Harmonik Sederhana (*Simple Harmonic Motion*)

Gerak harmonik sederhana merupakan suatu gerak getaran benda yang dipengaruhi oleh gaya pemulih yang linier dan tidak mengalami gesekan sehingga tidak mengalami pengurangan (*dissipasi*) tenaga. Gerak harmonik sederhana juga dapat diartikan sebagai suatu sistem yang bergetar dimana gaya pemulih berbanding lurus dengan negatif simpangannya. Gaya pemulih merupakan gaya yang bekerja dalam arah mengembalikan massa keposisi setimbangnya (Giancoli, 1997).



Gambar 2.1 Pegas vertikal (a) tanpa beban; (b) dengan beban dan mencapai posisi kesetimbangan dan (c) dengan beban dan terdapat suatu gaya tarik $f(t)$

Berdasarkan Gambar 2.1 (a) dapat dijelaskan bahwa pegas tergantung secara vertikal dan tidak terdapat beban sehingga pegas tidak mengalami peregangan. Sedangkan Gambar 2.1 (b) dapat dijelaskan bahwa pegas tergantung dalam keadaan vertikal dan terdapat beban yang tergantung pada ujung pegas. Dalam keadaan ini pegas teregang dan mengalami pertambahan panjang sebesar x_0 serta mencapai posisi kesetimbangan. Pegas yang telah mencapai posisi kesetimbangan selanjutnya ditarik atau disimpangkan sejauh x seperti pada Gambar 2.1 (b). Dalam keadaan ini gaya yang bekerja pada benda adalah

$$F = -kx \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) merupakan bentuk dari hukum Hook. Tanda negatif pada persamaan (2.1) menunjukkan bahwa gaya yang bekerja pada benda selalu berlawanan arah dengan arah simpangan.

Hukum Newton kedua menyatakan bahwa $F = ma$, sehingga apabila persamaan (2.1) disubstitusikan kedalam $F = ma$ didapatkan

$$-kx = ma \quad (2.2)$$

Dengan menggantikan $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ kedalam persamaan (2.2), maka didapatkan

$$-kx = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

atau

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0 \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) dikenal sebagai persamaan diferensial gerak harmonik sederhana (Sutrisno, 1977).

Misalkan solusi untuk persamaan (2.3) adalah

$$x = e^{st}$$

$$\frac{dx}{dt} = se^{st} \quad (2.4)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = s^2e^{st}$$

Persamaan (2.4) disubstitusikan kedalam persamaan (2.3), sehingga didapatkan

$$ms^2e^{st} + ke^{st} = 0$$

$$s^2e^{st} + \frac{k}{m}e^{st} = 0$$

$$(s^2 + \frac{k}{m})e^{st} = 0 \quad (2.5)$$

Akar-akar dari persamaan karakteristik (2.5) adalah

$$s^2 + \frac{k}{m} = 0$$

$$s^2 = -\frac{k}{m}$$

$$s = \pm \sqrt{-\frac{k}{m}}$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{k}{m}} i$$

$$s_1 = \sqrt{\frac{k}{m}} i \text{ dan } s_2 = -\sqrt{\frac{k}{m}} i$$

Dengan demikian solusi dari persamaan (2.3) secara umum dapat ditulis sebagai

$$x(t) = C_1 e^{\sqrt{\frac{k}{m}} it} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{k}{m}} it}$$

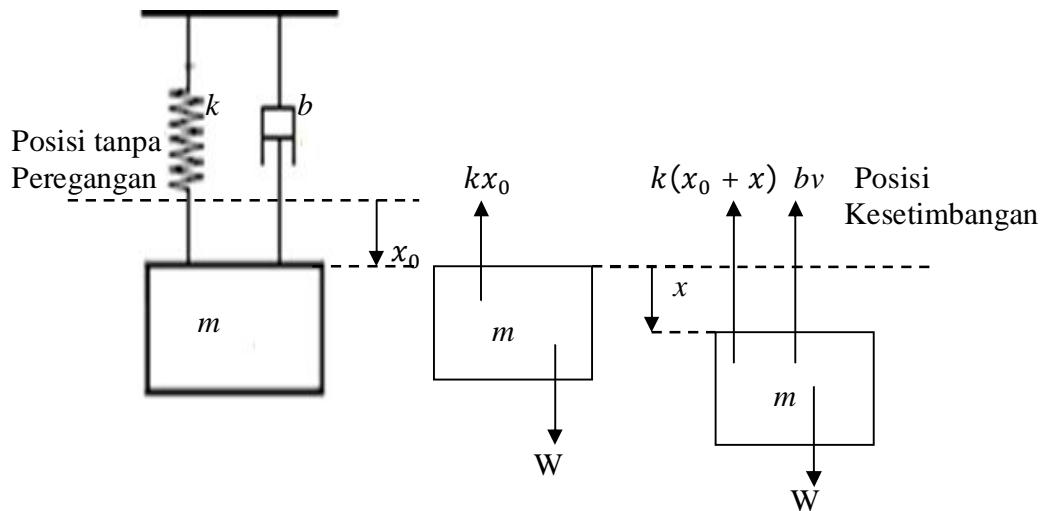
atau

$$x(t) = C_1 \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t$$

dengan C_1 dan C_2 merupakan konstanta sebarang (Hidayat, 1997).

2.3.2 Gerak Harmonik Teredam (*Damped Harmonic Motion*)

Gerak harmonik teredam merupakan gerak benda yang dipengaruhi oleh gaya penghambat atau redaman yang menyebabkan amplitudo getaran berkurang secara perlahan terhadap waktu sampai akhirnya berhenti. Gaya penghambat atau redaman ini dapat berupa gaya gesek udara maupun faktor internal pada sistem (Giancoli, 1997).



Gambar 2.2 Sistem pegas massa teredam dan diagram benda bebas

Ketika suatu beban bermassa m dikaitkan atau digantungkan pada sebuah pegas vertikal seperti pada Gambar 2.2, maka akan menyebabkan pegas akan teregang dan mengalami pertambahan panjang sebesar x_0 serta mencapai posisi kesetimbangan. Gaya yang bekerja pada benda adalah kx_0 sama dengan W . W adalah usaha dari beban bermassa m yang menyebabkan pegas teregang. Dengan demikian, didapatkan

$$kx_0 = W = mg \quad (2.6)$$

Pada saat pegas telah mencapai posisi kesetimbangan, selanjutnya pegas ditarik atau disimpangkan dalam arah kebawah sejauh x . Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa terdapat redaman b yang biasanya menyebabkan gerak getaran yang terjadi pada pegas perlahan berkurang terhadap waktu dan akhirnya berhenti. Dengan demikian, gaya yang bekerja pada beban bermassa m adalah $k(x_0 + x)$, bv dan W . Menurut hukum Newton kedua yaitu

$$\begin{aligned} \sum F &= ma \\ W - k(x_0 + x) - bv &= ma \\ W - k\Delta - kx - bv &= ma \end{aligned} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.6) disubstitusikan kedalam persamaan (2.7), sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} W - W - kx - bv &= ma \\ -kx - bv &= ma \end{aligned} \quad (2.8)$$

dengan b adalah konstanta positif dan v adalah kecepatan benda.

Jika $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ dan $v = \frac{dx}{dt}$ disubstitusikan kedalam persamaan (2.8), maka didapatkan:

$$-kx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

atau

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) merupakan bentuk persamaan getaran pegas dengan redaman.

Berdasarkan persamaan karakteristik dari persamaan (2.9) terdapat tiga kasus untuk persamaan gerak teredam karena b berada dalam selang interval nol sampai tak hingga, sehingga $b^2 - 4km$ dapat bernilai positif, negatif dan nol. Tiga kasus untuk sistem dengan redaman adalah sebagai berikut:

- Redaman superkritis (*overdamping*, $b^2 > 4km$), pada kasus ini peredam sedemikian besar sehingga sistem tidak akan berosilasi.
- Redaman subkritis (*underdamped*, $b^2 < 4km$), pada kasus ini sistem akan berosilasi dengan amplitudo yang semakin berkurang dengan bertambahnya waktu.
- Redaman kritis (*critical damped*, $b^2 = 4km$), pada kasus ini kesetimbangan dicapai dengan cepat.

2.3.1 Gerak Harmonik Teredam dengan Pengaruh Gaya Luar

Gerak harmonik teredam dengan pengaruh gaya luar merupakan salah satu bentuk dari sistem gerak getaran paksa (*forced oscillation*). Gaya luar yang diberikan pada sistem teredam akan menyebabkan sistem tetap bergetar.

Persamaan gerak harmonik teredam dengan pengaruh gaya luar memiliki bentuk yang sama dengan gerak harmonik teredam, hanya saja persamaan (2.9) ditambahkan dengan gaya luar sebesar $f(t)$. Sehingga dapat ditulis sebagai

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = f(t) \quad (2.10)$$

dengan $f(t)$ dapat berupa fungsi sinusoidal, fungsi eksponensial atau fungsi polinomial.

Persamaan (2.10) merupakan bentuk persamaan gerak harmonik teredam dengan faktor luar.

2.4 Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara hitungan atau aritmatika biasa. Berbagai permasalahan yang ada didalam berbagai disiplin ilmu pengetahuan dapat digambarkan dalam bentuk matematik. Metode numerik digunakan apabila permasalahan matematika tidak dapat diselesaikan secara analitik. Perbedaan antara metode analitik dan metode numerik adalah metode analitik hanya dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang sederhana dan menghasilkan solusi yang sebenarnya atau solusi sejati. Sedangkan metode numerik dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang sangat kompleks dan nonlinier. Solusi yang dihasilkan dari penyelesaian secara numerik merupakan solusi hampiran atau pendekatan yang mendekati solusi eksak atau solusi sebenarnya. Hasil penyelesaian yang didapatkan dari metode numerik dan metode analitik memiliki selisih, dimana selisih tersebut dinamakan kesalahan (*error*) (Triatmodjo, 2002).

2.5 Kesalahan Numerik

Aspek penting yang harus diperhatikan didalam komputasi numerik adalah keakuratan penyelesaian yang diperoleh. Hal ini dikarekanakan penyelesaian yang

diperoleh melalui komputasi numerik biasanya merupakan suatu hampiran, yang dengan sendirinya memuat beberapa galat atau kesalahan numerik.

Berikut ini merupakan beberapa sumber galat (*error*) pada suatu hampiran penyelesaian yang diperoleh dengan menggunakan suatu metode komputasi numerik.

- a. Model matematika untuk suatu fenomena alam
- b. Galat bawaan dari data masukan (parameter masukan)
- c. Metode penyelesaian
- d. Adanya pembulatan didalam melakukan operasi-operasi aritmatika atau operasi-operasi jenis lain pada bilangan-bilangan yang terkait (Sahid, 2006).

2.6 Metode Runge-Kutta Order Empat

Metode Runge-Kutta merupakan metode satu langkah yang memberikan ketelitian hasil yang lebih besar dan tidak memerlukan turunan dari fungsi. Bentuk umum dari metode Runge-Kutta adalah,

$$x_{i+1} = x_i + \phi(t_i, x_i, h)h$$

dengan $\phi(t_i, x_i, h)$ adalah fungsi pertambahan yang merupakan kemiringan rerata pada interval dan digunakan untuk mengekstrapolasi dari nilai lama x_i ke nilai baru x_{i+1} sepanjang interval h . Metode Runge-Kutta yang sering digunakan untuk menyelesaikan suatu persamaan diferensial adalah metode RK4. Metode RK4 merupakan metode yang paling teliti dibandingkan dengan metode Runge-Kutta yang berorder dibawahnya.

Metode RK4 mempunyai bentuk sebagai berikut:

$$x_{i+1} = x_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (2.11)$$

dengan

$$k_1 = f(t_i, x_i)$$

$$k_2 = f\left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i + \frac{1}{2}hk_1\right)$$

$$k_3 = f\left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i + \frac{1}{2}hk_2\right)$$

$$k_4 = f\left(t_i + h, x_i + \frac{1}{2}hk_3\right)$$

(Triatmodjo, 2002).

2.7 Metode Adam-Basforth-Moulton

Metode ABM merupakan salah satu metode banyak langkah yang dapat digunakan untuk menyelesaikan suatu persamaan diferensial dengan cukup akurat. Tujuan dari metode ini adalah menggunakan informasi dari beberapa titik sebelumnya $x_r, x_{r-1}, x_{r-2}, \dots, x_{r-m}$ yang dapat diperoleh dari metode satu langkah untuk menghitung nilai hampiran x_{r+1} yang lebih baik.

Metode Adams-Bashforth-Moulton disebut juga metode prediktor-korektor Adams-Bashforth-Moulton karena dalam penyelesaiannya terdiri dari dua tahap yaitu tahap prediktor dan tahap korektor. Metode Adams-Bashforth-Moulton merupakan gabungan dari dua metode yaitu metode Adams-Bashforth sebagai prediktor dan metode Adams-Moulton sebagai korektor.

2.7.1 Metode Adams-Basforth Order Tiga

Nilai fungsi $f(t, x(t))$ didekati dengan menggunakan polinomial interpolasi kuadratik yang melalui titik-titik berabsis t_{k-2}, t_{k-1} dan t_k , sehingga diperoleh rumus

$$x_{k+1} = x_k + \frac{h}{12} (23f(t_k, x_k) - 16f(t_{k-1}, x_{k-1}) + 5f(t_{k-2}, x_{k-2})) \text{ untuk } k = 2, 3, 4, \dots \quad (2.12)$$

Pada metode ini galat hampiran adalah $O(h^3)$. Untuk menggunakan metode ini diperlukan tiga nilai awal x_0, x_1 dan x_2 . Oleh karena yang diketahui $x_0 = x(t_0)$, nilai-nilai x_1 dan x_2 perlu dihitung dengan menggunakan metode lain yang memiliki galat hampiran pada akhir setiap langkah $O(h^m)$ dengan h merupakan ukuran langkah (Δt), m merupakan order dari metode dan nilai $m \geq 3$, misalnya metode Runge-Kutta order empat.

2.7.2 Metode Adams-Moulton Order Empat

Nilai fungsi $f(t, x(t))$ didekati dengan menggunakan interpolasi kubik yang melalui titik-titik berabsis t_{k-2}, t_{k-1}, t_k dan t_{k+1} , sehingga diperoleh rumus

$$x_{k+1} = x_k + \frac{h}{24} (9f(t_{k+1}, x_{k+1}) + 19f(t_k, x_k) - 5f(t_{k-1}, x_{k-1}) + f(t_{k-2}, x_{k-2})), \text{ untuk } k = 2, 3, 4, \dots \quad (2.13)$$

Galat hampiran didalam metode ini adalah $O(h^4)$, untuk hampiran ke- k . Metode ini juga merupakan metode implisit yang memerlukan tiga buah nilai awal x_0, x_1 dan x_2 . Oleh karena itu yang diketahui hanya $x_0 = x(t_0)$, nilai x_1 dan x_2 perlu dihitung dengan menggunakan metode lain yang memiliki galat hampiran setiap langkah $O(h^m)$ dengan h merupakan ukuran langkah (Δt), m merupakan order dari metode dan nilai $m \geq 4$, misalnya metode Runge-Kutta order empat (Sahid, 2006).

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang prosedur yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Prosedur yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

a. Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Hadiansyah (2007). Data penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data hasil percobaan untuk penambahan beban pada pegas

Massa (m)	Gaya Gravitasi (g)	Panjang Pertambahan Pegas (x_0)	Tetapan Pegas (k)
0,5	10	0,2	25,0
1	10	0,35	28,6
1,5	10	0,56	26,8
2	10	0,72	27,8
2,5	10	0,9	27,8

Data tersebut didapatkan dengan melakukan penelitian yang menggunakan lima beban dengan massa yang sama yaitu 0,5 kg dan panjang pegas mula-mula adalah 0,2 m. Pada tahap awal, beban pertama dengan massa 0,5 kg dikaitkan pada pegas dan dilihat pertambahan panjangnya. Tahap selanjutnya, satu persatu beban ditambahkan pada pegas dan dilihat massa beban serta pertambahan panjang pegas pada setiap penambahan beban. Nilai tetapan pegas diperoleh dengan mensubstitusikan nilai pertambahan panjang pegas yang didapatkan dan nilai massa beban yang diberikan pada pegas kedalam persamaan $F = -k\Delta$. Nilai k dapat diperoleh dengan membagi F dengan Δ , dimana $F = mg$.

Sumber: Hadiansyah (2007)

b. Menentukan Model Getaran Pegas dengan Faktor Redaman

Model getaran pegas dengan faktor redaman yang akan digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada persamaan (2.9). Pada persamaan (2.9) dapat dijelaskan bahwa k adalah nilai tetapan pegas, m adalah massa beban dan b adalah nilai redaman.

c. Menyelesaikan Model dengan Skema Runge-Kutta Order Empat dan Adams-Basforth-Moulton

Untuk menyelesaikan model persamaan getaran pegas dengan faktor redaman akan dilakukan dengan menggunakan skema Runge-Kutta order empat seperti pada persamaan (2.11). Sedangkan untuk menyelesaikan model persamaan getaran pegas dengan faktor redaman yang akan diselesaikan dengan skema Adams-Basforth-Moulton dilakukan dengan dua tahap yaitu tahap prediksi menggunakan metode Adams-Basforth order tiga seperti pada persamaan (2.12) dan tahap koreksi menggunakan metode Adams-Moulton order empat seperti pada persamaan (2.13).

d. Pembuatan Program

Software yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan getaran pegas dengan faktor redaman adalah Matlab 7.8.0. Prosedur yang akan dilakukan pada tahap pembuatan program simulasi persamaan getaran pegas dengan faktor redaman adalah sebagai berikut:

- 1) input nilai-nilai parameter yaitu massa (m), nilai redaman (b), nilai tetapan pegas (k), nilai simpangan awal (x_0), kecepatan awal (v_0), ukuran langkah (h) dan gaya gravitasi (g).
- 2) proses
 - a) Membuat subprogram untuk metode Runge-Kutta order empat
 - b) Membuat subprogram untuk metode Adams-Bashforth order tiga
 - c) Membuat subprogram untuk metode Adams-Moulton order empat

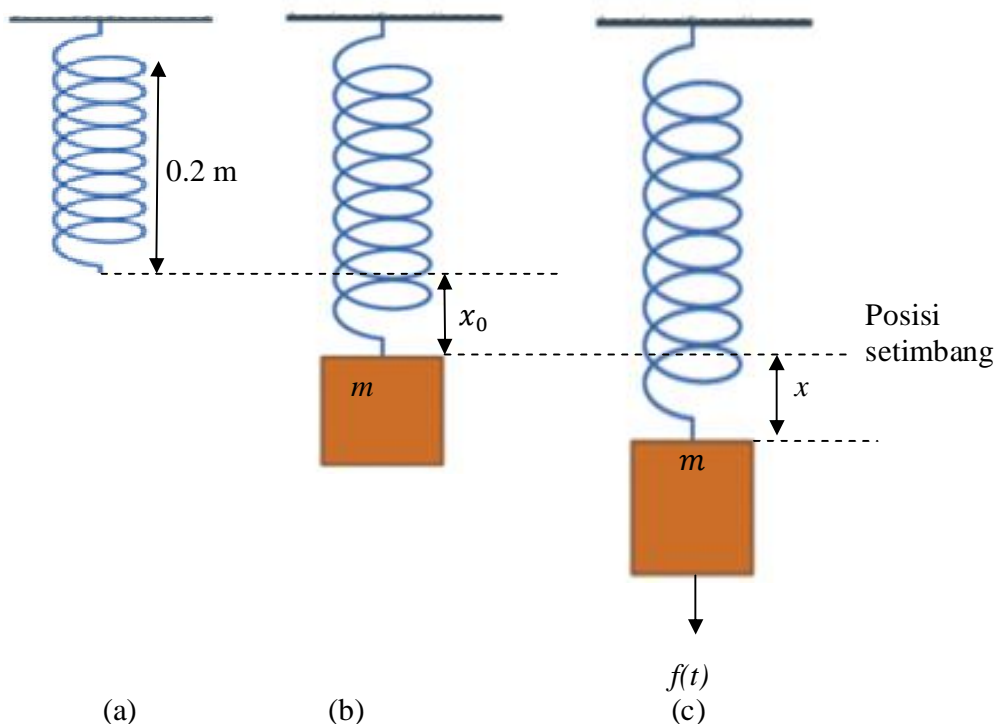
3) output

Output yang dihasilkan dari simulasi ini berupa grafik posisi getaran pegas terhadap waktu.

e. Simulasi Program

Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan cara memvariasikan parameter-parameter yang mempengaruhi gerak getaran pegas dengan faktor redaman. Dalam simulasi ini, beberapa parameter yang akan divariasikan adalah massa beban, nilai redaman dan kecepatan awal.

Nilai massa beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,5 kg, 1,5 kg dan 2,5 kg. Berikut ini akan disajikan proses pengujian pegas sehingga terjadi getaran seperti dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pegas vertikal (a) tanpa beban; (b) dengan beban dan mencapai posisi setimbang dan (c) dengan beban dan terdapat gaya tarik

Berdasarkan Gambar 3.1 dapat dijelaskan bahwa pada tahap awal pegas dalam keadaan tidak diberi beban. Kemudian pada pegas digantungkan beban dengan massa m sehingga pegas mengalami pertambahan panjang sebesar x_0 dan mencapai posisi kesetimbangan. Dalam hal ini massa beban yang digunakan adalah 0,5 kg, 1,5 kg dan 2,5 kg. Sedangkan panjang pertambahan pegas (x_0) untuk massa beban 1,5 kg, 1,5 kg dan 2,5 kg secara berurutan adalah 0,2 m, 0,56 m dan 0,9 m. Selanjutnya, pegas yang dalam keadaan setimbang ditarik atau diregangkan kebawah sejauh 0,1 m ($x = 0,1$ m).

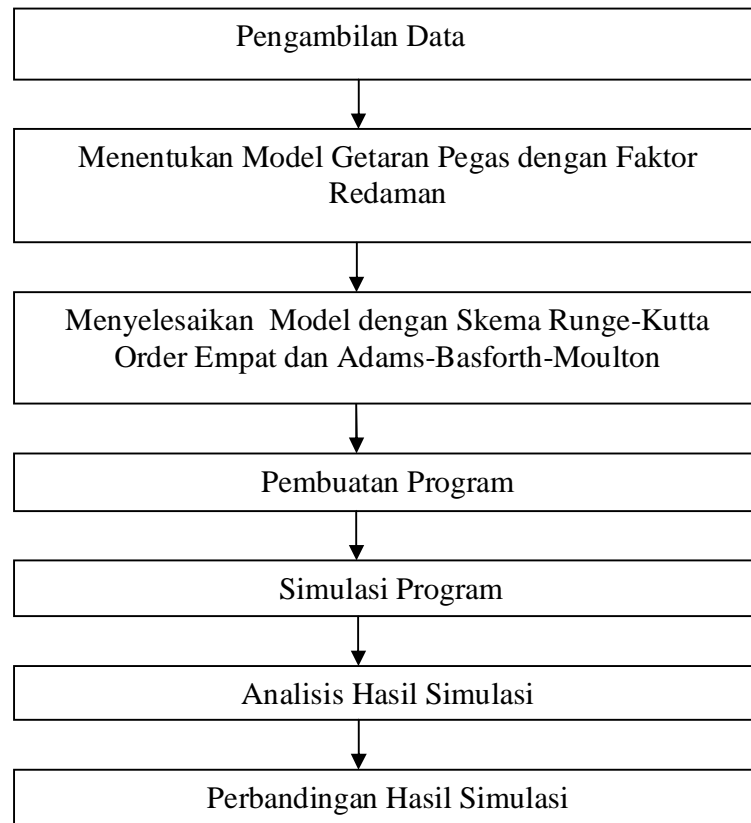
f. Analisis Hasil Simulasi

Hasil yang diperoleh dari simulasi, selanjutnya dianalisis untuk mengetahui profil dari getaran pegas dengan faktor redaman.

g. Perbandingan Hasil Simulasi

Pada tahap perbandingan hasil simulasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi antara metode RK4 dan ABM terhadap metode analitik. Cara membandingkannya adalah dengan memberikan nilai parameter-parameter yaitu massa, nilai redaman, tetapan pegas, posisi awal, dan kecepatan awal yang sama baik untuk metode RK4, metode ABM maupun metode analitik. Pada tahapan ini juga akan dibandingkan nilai galat (*error*) yang dihasilkan oleh metode RK4 dan ABM serta waktu komputasi dari metode RK4 dan ABM dalam menyelesaikan model getaran pegas teredam.

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, secara skematik dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Skema Metode Penelitian

BAB 4. PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dipaparkan penyelesaian secara numerik model getaran pegas teredam. Pada awalnya, model getaran pegas teredam yang termasuk persamaan diferensial linier order dua diubah menjadi sistem persamaan diferensial linier order satu. Kemudian sistem persamaan diferensial linier order satu tersebut diselesaikan menggunakan skema RK4 dan ABM. Pada bagian akhir akan dibahas tentang simulasi dan analisis hasil simulasi menggunakan skema RK4 dan ABM serta perbandingan hasil simulasi antara skema RK4 dan ABM.

4.1 Penyelesaian Model Secara Numerik

Model gerak getaran pegas teredam dapat ditunjukkan pada persamaan (2.9). Persamaan (2.9) merupakan persamaan diferensial linier order dua. Agar dapat diselesaikan dengan menggunakan skema RK4 dan ABM, persamaan (2.9) harus diubah menjadi sistem persamaan diferensial linier order satu.

$$\text{Misalkan } \frac{dx}{dt} = v,$$

$$\text{Maka } \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{b}{m}v - \frac{k}{m}x.$$

Dengan demikian diperoleh sistem persamaan diferensial order satu sebagai berikut:

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, v) = v \quad (4.1)$$

$$\frac{dv}{dt} = g(t, x, v) = -\frac{b}{m}v - \frac{k}{m}x$$

4.1.1 Penyelesaian Model dengan Skema RK4

Persamaan (4.1) akan diselesaikan menggunakan skema RK4. Secara umum, langkah-langkah dalam menyelesaikan persamaan (4.1) adalah sebagai berikut:

- a. Mengubah model getaran pegas teredam yang merupakan persamaan diferensial linier order dua seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.9) menjadi sistem persamaan diferensial linier order satu seperti pada persamaan (4.1).
- b. Menentukan nilai parameter-parameter yaitu massa (m), nilai tetapan pegas (k), gaya gravitasi (g), posisi awal ($x(t_0)$), nilai kecepatan awal ($v(t_0)$), nilai perpanjangan pegas dan ukuran langkah (h).
- c. Menyelesaikan persamaan (4.1) menggunakan skema RK4 seperti pada persamaan (2.11). Dengan demikian diperoleh

$$x_{i+1} = x_i + \frac{1}{6}h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (4.2)$$

$$v_{i+1} = v_i + \frac{1}{6}h(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)$$

dengan

$$k_1 = f(t, x, v)$$

$$= v$$

$$l_1 = g(t, x, v)$$

$$= -\frac{b}{m}v - \frac{k}{m}x$$

$$k_2 = f\left(t + \frac{h}{2}, x + k_1 \frac{h}{2}, v + l_1 \frac{h}{2}\right)$$

$$= v + l_1 \frac{h}{2}$$

$$l_2 = g\left(t + \frac{h}{2}, x + k_1 \frac{h}{2}, v + l_1 \frac{h}{2}\right)$$

$$= -\frac{b}{m}\left(v + l_1 \frac{h}{2}\right) - \frac{k}{m}\left(x + k_1 \frac{h}{2}\right)$$

$$k_3 = f\left(t + \frac{h}{2}, x + k_2 \frac{h}{2}, v + l_2 \frac{h}{2}\right)$$

$$= v + l_2 \frac{h}{2}$$

$$l_3 = g\left(t + \frac{h}{2}, x + k_2 \frac{h}{2}, v + l_2 \frac{h}{2}\right)$$

$$= -\frac{b}{m}\left(v + l_2 \frac{h}{2}\right) - \frac{k}{m}\left(x + k_2 \frac{h}{2}\right)$$

$$\begin{aligned}
k_4 &= f(t + h, x + k_3 h, v + l_3 h) \\
&= v + l_3 h \\
l_4 &= g(t + h, x + k_3 h, v + l_3 h) \\
&= -\frac{b}{m}(v + l_3 h) - \frac{k}{m}(x + k_3 h)
\end{aligned}$$

d. Selesai

4.1.2 Penyelesaian Model dengan Skema ABM

Persamaan (4.1) akan diselesaikan menggunakan skema ABM. Secara umum, langkah-langkah dalam menyelesaikan persamaan (4.1) adalah sebagai berikut.

- Mengubah model getaran pegas teredam yang merupakan persamaan diferensial linier order dua seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.9) menjadi sistem persamaan diferensial linier order satu seperti pada persamaan (4.1).
- Menentukan nilai parameter-parameter yaitu massa beban, nilai tetapan pegas, gaya gravitasi, posisi awal, nilai kecepatan awal dan ukuran langkah.
- Menentukan nilai titik awal dengan menggunakan skema RK4 seperti yang diperoleh pada persamaan (4.2).
- Melakukan prediksi dengan skema Adams-Bashforth order tiga

Pada tahap prediksi, persamaan (4.1) diselesaikan menggunakan skema Adams-Bashforth seperti pada persamaan (2.12). Sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
x_{j+1} &= x_j + \frac{h}{12} (23f(t_j, x_j, v_j) - 16f(t_{j-1}, x_{j-1}, v_{j-1}) + \\
&\quad 5f(t_{j-2}, x_{j-2}, v_{j-2})) \\
v_{j+1} &= v_j + \frac{h}{12} (23g(t_j, x_j, v_j) - 16g(t_{j-1}, x_{j-1}, v_{j-1}) + \\
&\quad 5g(t_{j-2}, x_{j-2}, v_{j-2}))
\end{aligned}$$

- Melakukan koreksi dengan skema Adams-Moulton order empat

Pada tahap koreksi, persamaan (4.1) diselesaikan menggunakan skema Adams-Moulton seperti pada persamaan (2.13). Sehingga diperoleh

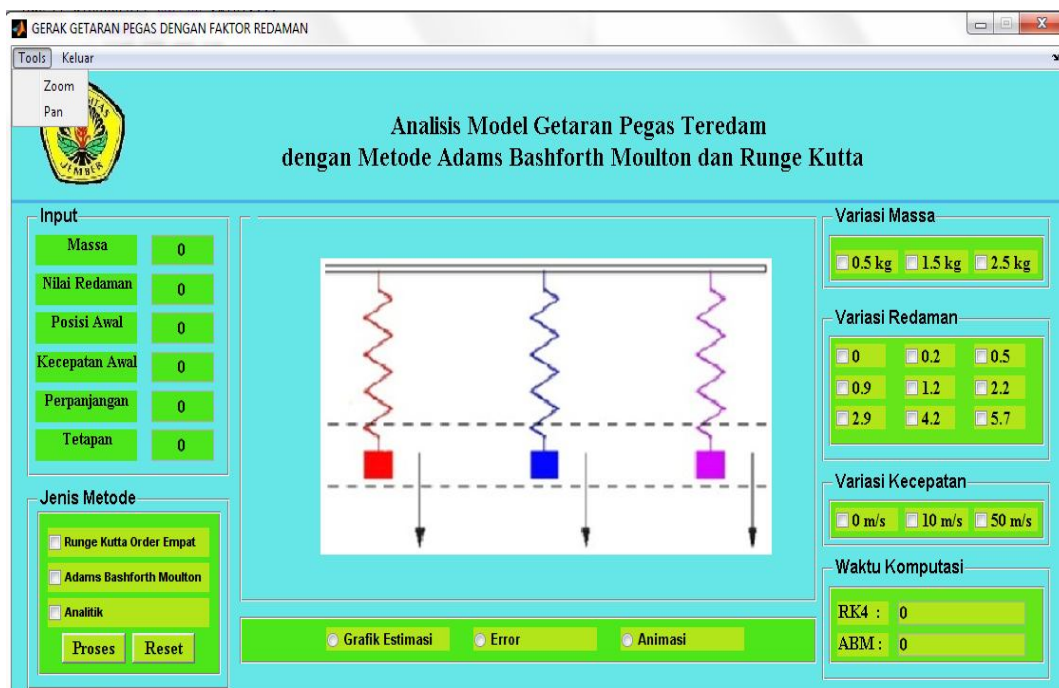
$$x_{j+1} = x_j + \frac{h}{24} (9f(t_{j+1}, x_{j+1}, v_{j+1}) + 19f(t_j, x_j, v_j) - 5f(t_{j-1}, x_{j-1}, v_{j-1}) + f(t_{j-2}, x_{j-2}, v_{j-2}))$$

$$v_{j+1} = v_j + \frac{h}{24} (9g(t_{j+1}, x_{j+1}, v_{j+1}) + 19g(t_j, x_j, v_j) - 5g(t_{j-1}, x_{j-1}, v_{j-1}) + g(t_{j-2}, x_{j-2}, v_{j-2}))$$

f. Selesai

4.2 Tampilan Program

Software yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan getaran pegas dengan faktor redaman adalah Matlab 7.8.0. Gambar 4.1 menunjukkan tampilan GUI untuk program penyelesaian getaran pegas teredam.



Gambar 4.1 Tampilan GUI program getaran pegas

Input dari program diatas antara lain adalah massa, nilai redaman, posisi awal, kecepatan awal, nilai perpanjangan pegas dan nilai tetapan pegas. Variasi nilai untuk

massa beban yang digunakan adalah 0,5 kg , 1,5 kg dan 2,5 kg. Variasi untuk nilai redaman yang digunakan adalah 0; 0,2; 0,5; 0,9; 1,2; 2,2; 2,9; 4,2 dan 5,7. Sedangkan variasi nilai untuk kecepatan nilai awal yang digunakan adalah 0 m/s, 10 m/s dan 50 m/s. Pada variasi massa, variasi redaman dan kecepatan awal yang terdapat pada tampilan GUI diatas dapat dipilih lebih dari satu nilai variasi sekaligus karena menggunakan komponen *Checkbox*. Akan tetapi, jika telah dipilih semua nilai pada variasi massa maka untuk variasi nilai redaman dan nilai kecepatan awal hanya dapat dipilih satu nilai. Hal tersebut juga berlaku pada saat dipilih semua nilai variasi redaman dan kecepatan awal. Pada saat dipilih semua nilai untuk variasi redaman maka nilai variasi massa dan kecepatan awal hanya dapat dipilih satu nilai. Dan pada saat dipilih semua nilai untuk kecepatan awal maka nilai variasi massa dan redaman hanya dapat dipilih satu. Jika hal demikian tidak dilakukan maka akan terdapat tampilan peringatan untuk memilih satu nilai variasi saja (dapat dilihat pada lampiran).

Jenis metode yang akan digunakan meliputi metode Runge-Kutta order empat, Adam-Bashforth-Moulton dan analitik. Pada jenis metode yang terdapat pada tampilan GUI diatas dapat dipilih salah satu atau dua bahkan tiga metode sekaligus karena menggunakan komponen *Checkbox*. Akan tetapi, jika dipilih lebih dari satu jenis metode maka hanya satu nilai variasi untuk massa, redaman dan kecepatan awal yang dapat dipilih. Jika hal demikian tidak dilakukan maka akan terdapat tampilan peringatan untuk memilih satu jenis metode saja (dapat dilihat pada lampiran).

Grafik Estimasi yang terdapat pada tampilan GUI diatas digunakan untuk menampilkan grafik hasil penyelesaian model getaran pegas teredam berdasarkan jenis metode yang dipilih. Sedangkan error digunakan untuk menampilkan grafik dari galat hasil penyelesaian metode yang dipilih. Untuk animasi digunakan sebagai gambaran pergerakan getaran pegas dari posisi awal sampai berakhir pada waktu yang telah ditetapkan. Waktu komputasi yang terdapat pada tampilan GUI diatas digunakan untuk mengetahui waktu dibutuhkan oleh metode RK4 dan ABM dalam

menyelesaikan model getaran pegas teredam. Keterangan lain dari program diatas antara lain:

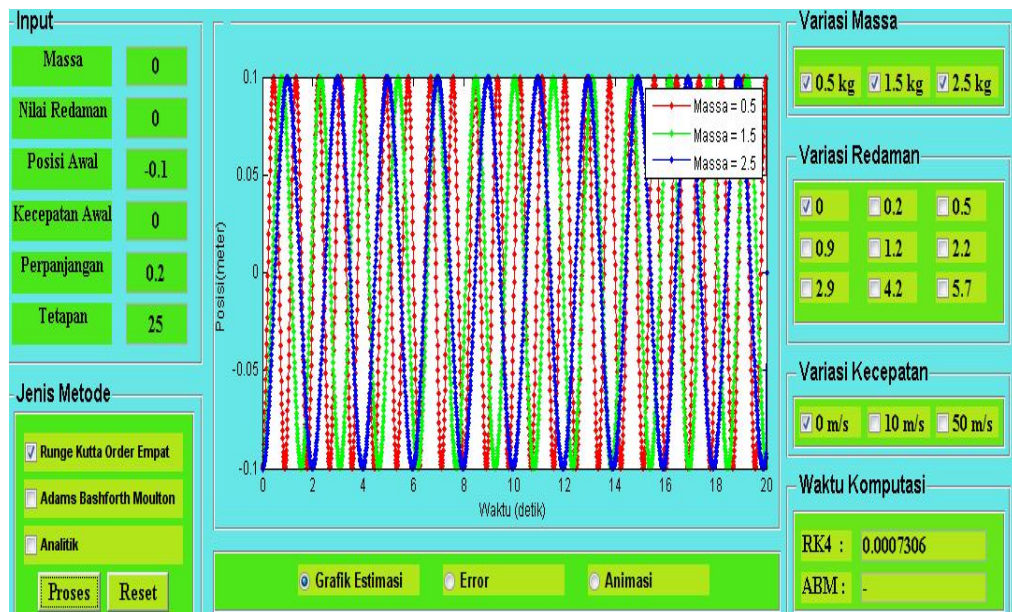
- a. tombol Proses, digunakan untuk mencari hasil penyelesaian persamaan getaran pegas dengan faktor redaman.
- b. tombol Reset, digunakan untuk memulai kembali proses penyelesaian dari awal.
- c. submenu *Zoom* pada menu *tools*, digunakan untuk memperbesar tampilan gambar serta submenu *pan* untuk menggeser tampilan gambar.
- d. menu keluar, digunakan untuk menutup program.

4.3 Simulasi Program

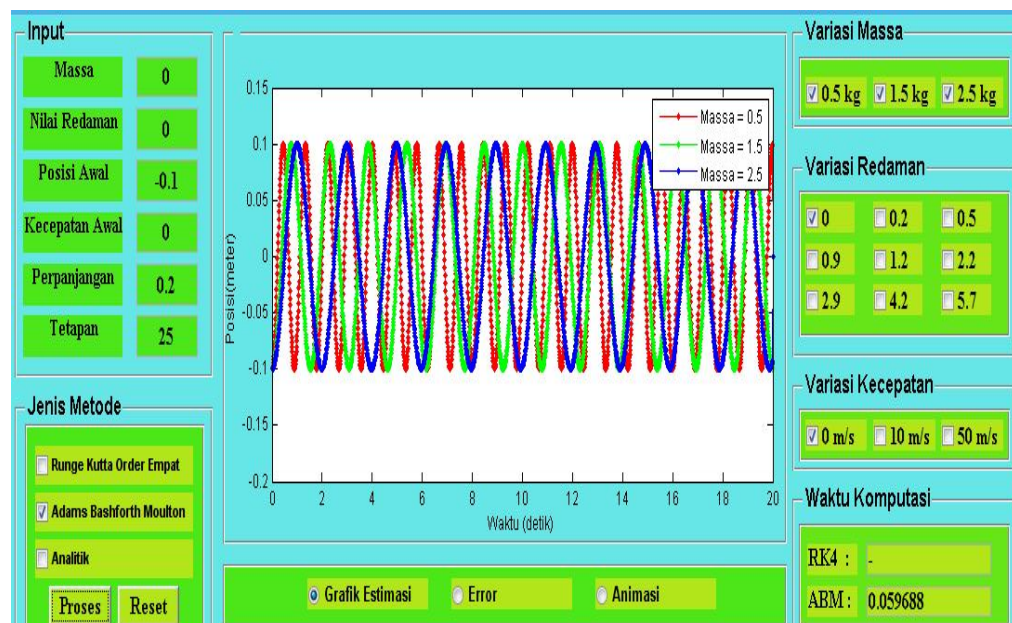
Dalam subbab ini akan disimulasikan gerak getaran pegas dengan skema RK4 dan ABM. Simulasi gerak getaran pegas yang diselesaikan menggunakan skema RK4 dan ABM dilakukan dengan memvariasikan parameter-parameter yang mempengaruhi gerak getaran pegas tersebut. Beberapa parameter yang akan divariasikan yaitu massa beban, nilai redaman dan kecepatan awal. Untuk mempermudah dalam menganalisis pengaruh tiap-tiap parameter terhadap gerak getaran pegas, maka variasi parameter akan dilakukan secara bergantian misalnya jika nilai redaman yang divariasikan maka massa beban dan kecepatan awal dianggap tetap, begitu seterusnya.

4.3.1 Simulasi Getaran Pegas dengan variasi Massa

Pada tugas akhir ini akan diberikan tiga variasi nilai untuk massa beban. Nilai massa beban yang akan digunakan adalah 0,5 kg; 1,5 kg dan 2,5 kg. Gambar 4.4 dan Gambar 4.4 secara berurutan menunjukkan profil gerak getaran pegas untuk variasi nilai massa dengan Skema RK4 dan ABM.



Gambar 4.4 Profil getaran pegas untuk variasi massa beban dengan RK4



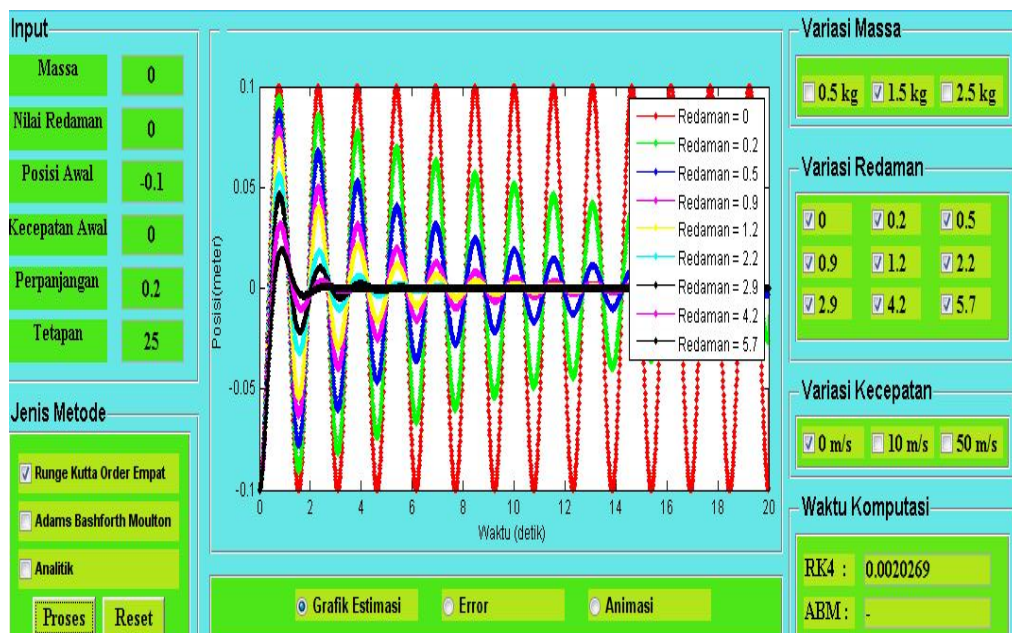
Gambar 4.5 Profil getaran pegas untuk variasi massa dengan ABM

Berdasarkan Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat dijelaskan bahwa dengan memberikan variasi nilai untuk massa, grafik hasil estimasi menggunakan skema

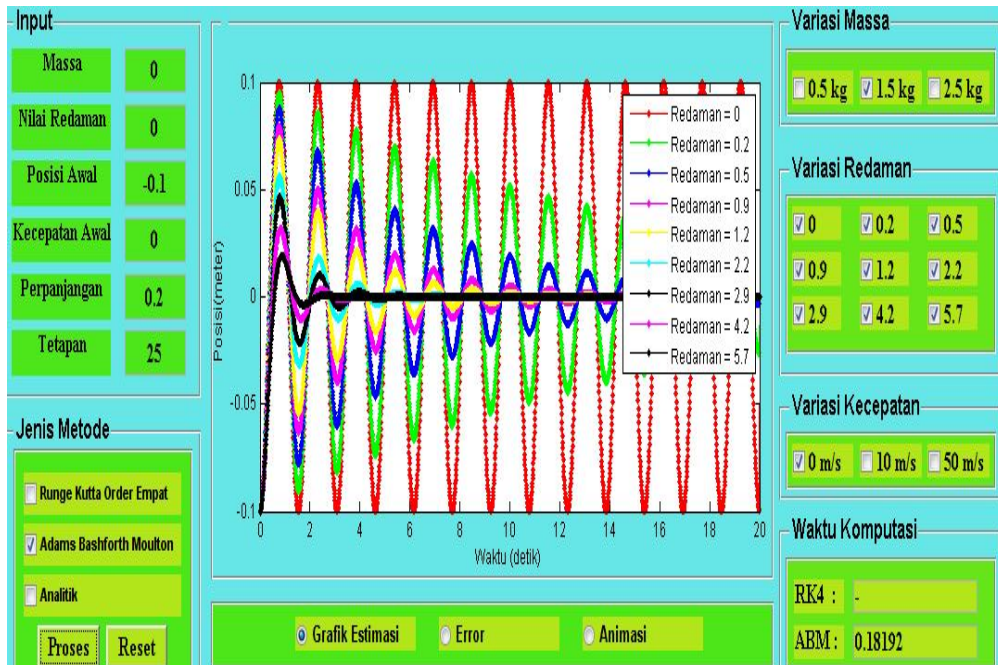
RK4 dan ABM terlihat semakin meregang. Hal ini menunjukkan semakin besar massa yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan pegas akan semakin cepat untuk mencapai posisi kesetimbangan. Waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode RK4 adalah 0,0007306 detik. Sedangkan waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode ABM adalah 0,059688 detik.

4.3.2 Simulasi Getaran Pegas dengan variasi Nilai Redaman

Pada tugas akhir ini akan diberikan beberapa variasi nilai untuk nilai redaman. Nilai redaman yang akan digunakan adalah 0; 0,2; 0,5; 0,9; 1,2; 2,2; 2,9; 4,2 dan 5,7. Berikut ini akan disajikan visualisasi grafik simulasi gerak getaran pegas dengan variasi nilai redaman.



Gambar 4.6 Profil getaran pegas untuk variasi nilai redaman dengan RK4



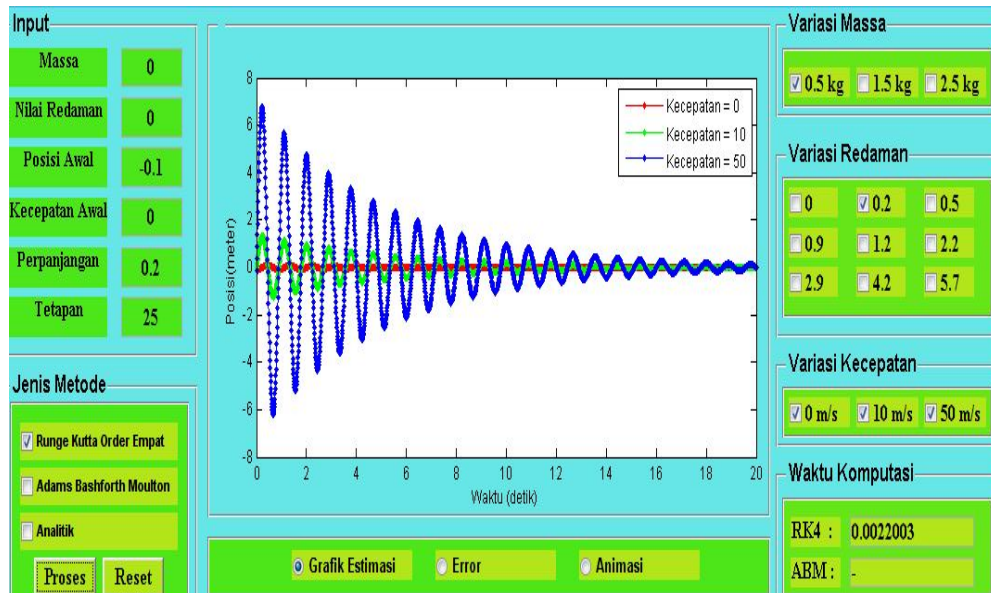
Gambar 4.7 Profil getaran pegas untuk variasi nilai redaman dengan ABM

Berdasarkan Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat dijelaskan bahwa dengan memberikan variasi nilai redaman yaitu 0; 0,2; 0,5; 0,9; 1,2; 2,2; 2,9; 4,2 dan 5,7 grafik hasil estimasi menggunakan skema RK4 dan ABM menunjukkan osilasi yang terjadi semakin berkurang seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai redaman yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan gerak getaran pada pegas akan semakin cepat untuk mencapai posisi kesetimbangan. Waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode RK4 adalah 0,0020269 detik. Sedangkan waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode ABM adalah 0,18192 detik.

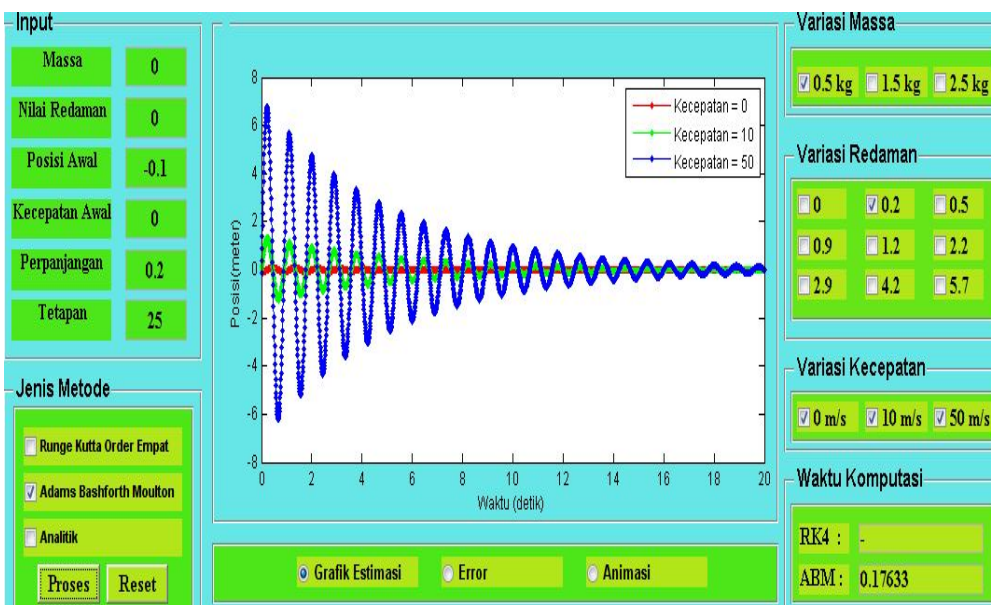
4.3.3 Simulasi Getaran Pegas dengan variasi Kecepatan Awal

Pada tugas akhir ini akan diberikan tiga variasi nilai untuk kecepatan awal. Nilai kecepatan awal yang akan digunakan adalah 0 m/detik, 10 m/detik dan 50

m/detik. Gambar 4.6 dan Gambar 4.9 secara berurutan menunjukkan profil gerak getaran pegas dengan variasi kecepatan awal.



Gambar 4.8 Profil getaran pegas untuk variasi kecepatan awal dengan metode RK4

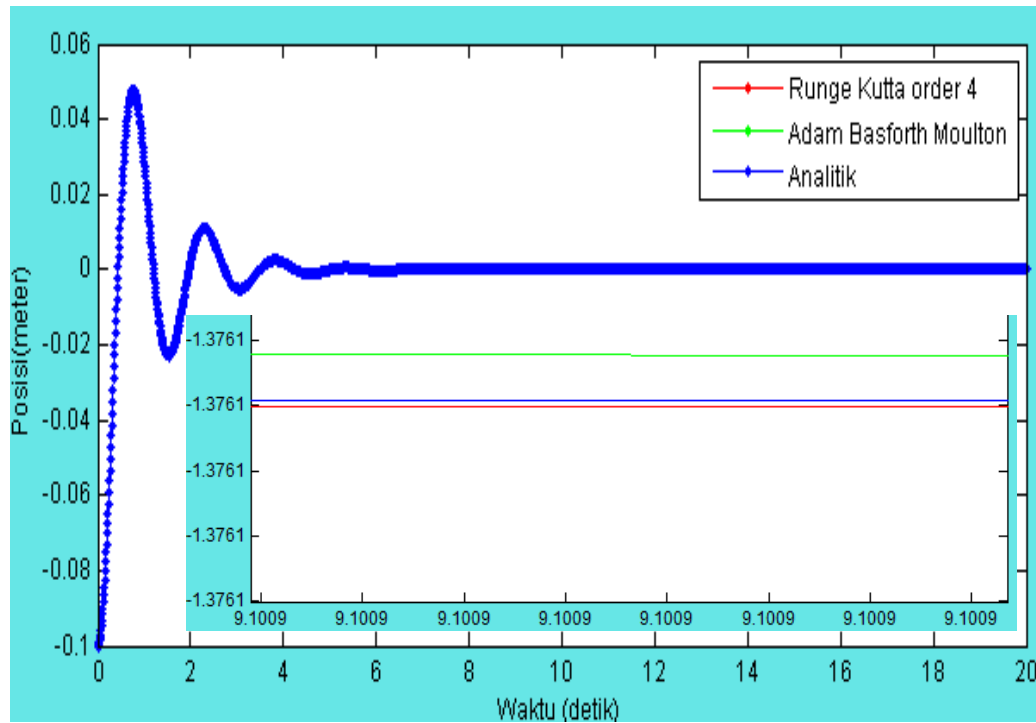


Gambar 4.9 Profil getaran pegas untuk variasi kecepatan awal dengan metode ABM

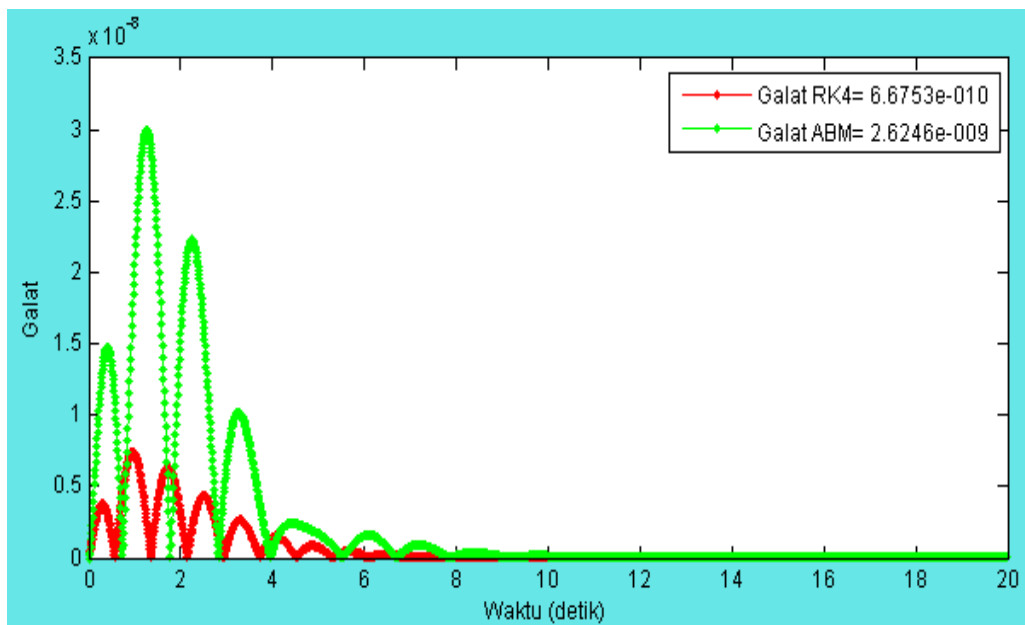
Berdasarkan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa dengan memberikan variasi nilai untuk kecepatan awal yaitu 0 m/detik, 10 m/detik dan 50 m/detik grafik hasil estimasi menggunakan skema RK4 dan ABM menunjukkan bahwa amplitudonya semakin bertambah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai kecepatan awal yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan pegas akan semakin cepat untuk mencapai posisi kesetimbangan. Waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode RK4 adalah 0,0022003 detik. Sedangkan waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode ABM adalah 0,17633 detik.

4.3.4 Verifikasi Solusi Numerik dan Solusi Analitik

Verifikasi antara solusi numerik dengan solusi analitik dilakukan untuk mengetahui kebenaran dari hasil penyelesaian model gerak getaran pegas dengan faktor redaman yang diselesaikan secara numerik menggunakan metode RK4 dan ABM. Verifikasi antara solusi numerik dan solusi analitik dilakukan dengan memberikan nilai yang sama untuk beberapa parameter yaitu massa, nilai redaman, posisi awal dan kecepatan awal, baik untuk metode RK4, metode ABM maupun metode analitik. Selain dapat mengetahui kebenaran hasil penyelesaian dari metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan model getaran pegas dengan faktor redaman, verifikasi antara solusi numerik dan solusi analitik dapat juga digunakan untuk mengetahui diantara kedua metode numerik yang digunakan metode manakah lebih baik. Hasil estimasi yang baik dari masing-masing metode numerik yang digunakan dapat dilihat berdasarkan besarnya galat (*error*) yang dihasilkan dan juga berdasarkan grafik estimasi yang paling mendekati solusi analitik. Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 menunjukkan grafik hasil estimasi antara solusi numerik dan solusi analitik dari model getaran pegas dengan faktor redaman dan grafik besarnya galat yang dihasilkan oleh metode RK4 dan ABM.



Gambar 4.10 Verifikasi Solusi Numerik dan Solusi Analitik



Gambar 4.11 Galat (*error*) dari metode RK4 dan ABM

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dijelaskan bahwa grafik yang dihasilkan dengan menggunakan metode RK4 dan ABM saling berimpit dengan grafik yang dihasilkan dengan metode analitik. Akan tetapi, pada saat diperbesar pada suatu interval waktu tertentu maka dapat dilihat bahwa grafik estimasi menggunakan skema RK4 lebih mendekati grafik solusi analitik jika dibandingkan grafik estimasi menggunakan skema ABM. Waktu komputasi yang dibutuhkan oleh metode RK4 dalam menyelesaikan model getaran pegas teredam adalah 0,0030675 detik. Sedangkan waktu yang dibutuhkan oleh metode ABM dalam menyelesaikan model getaran pegas teredam adalah 0,023346 detik. Gambar 4.11 menunjukkan galat yang dihasilkan oleh metode RK4 adalah $6,68 \times 10^{-10}$. Sedangkan galat yang dihasilkan oleh metode ABM adalah $2,62 \times 10^{-9}$.

4.4 Analisis Hasil Simulasi

Pada subbab ini akan dibahas mengenai analisis simulasi yang telah dilakukan pada subbab 4.3.

4.4.1 Analisis Hasil Simulasi dengan Variasi Massa Beban

Pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dapat dijelaskan bahwa dengan memberikan nilai massa beban 0,5 kg pada sistem, grafik yang dihasilkan terlihat cukup rapat. Hal ini menunjukkan bahwa pegas membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai posisi kesetimbangan. Sedangkan dengan memberikan nilai massa beban 1,5 kg dengan dan 2,5 kg pada sistem, grafik yang dihasilkan semakin meregang. Hal ini menunjukkan bahwa pegas lebih cepat untuk dapat mencapai posisi kesetimbangan. Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa dengan memberikan massa beban yang berbeda maka akan berpengaruh terhadap gerak getaran pegas. Semakin besar massa beban yang dikaitkan pada pegas maka semakin cepat pegas untuk mencapai posisi kesetimbangan. Waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode RK4 adalah 0,0007306 detik. Sedangkan

waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode ABM adalah 0,059688 detik.

4.4.2 Analisis Hasil Simulasi dengan Variasi Nilai Redaman

Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat dijelaskan bahwa dengan memberikan nilai redaman sama dengan 0, grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa sistem berosilasi dengan amplitudo getaran yang tetap pada interval waktu yang sama. Sedangkan untuk variasi nilai redaman yaitu 0,2; 0,5; 0,9; 1,2; 2,2; 2,9; 4,2 dan 5,7 dapat dijelaskan bahwa dengan memberikan nilai redaman yang terus bertambah, grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa sebelum mencapai posisi kesetimbangan sistem berosilasi dengan amplitudo getaran yang terus berkurang seiring dengan bertambahnya waktu sampai akhirnya berhenti. Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai redaman yang diberikan kedalam sistem maka akan semakin cepat pegas untuk mencapai posisi kesetimbangan. Waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode RK4 adalah 0,0020269 detik. Sedangkan waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode ABM adalah 0,18192 detik.

4.4.3 Analisis Hasil Simulasi dengan Variasi Kecepatan Awal

Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa grafik yang dihasilkan dengan memberikan variasi nilai kecepatan awal, menunjukkan bahwa semakin kecil nilai kecepatan awal yang diberikan pada sistem maka semakin cepat pegas untuk mencapai posisi kesetimbangan. Waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode RK4 adalah 0,0022003 detik. Sedangkan waktu komputasi yang dibutuhkan dengan menggunakan metode ABM adalah 0,17633 detik.

4.4.4 Hasil Simulasi Verifikasi Metode Numerik dan Analitik

Berdasarkan Gambar 4.10 grafik hasil estimasi menggunakan metode numerik yaitu metode RK4 dan ABM saling berimpit dengan grafik solusi analitik. Akan

tetapi, pada saat diperbesar pada suatu interval waktu tertentu maka dapat dilihat bahwa grafik estimasi menggunakan skema RK4 lebih mendekati grafik solusi analitik jika dibandingkan grafik estimasi menggunakan skema ABM. Berdasarkan Gambar 4.11 besarnya galat (*error*) yang dihasilkan oleh metode RK4 dalam menyelesaikan model gerak getaran pegas dengan faktor redaman adalah $6,68 \times 10^{-10}$. Sedangkan galat yang dihasilkan oleh metode ABM adalah $2,62 \times 10^{-9}$. Berdasarkan nilai galat yang dihasilkan dari masing-masing metode numerik tersebut maka dapat diketahui bahwa galat yang dihasilkan oleh metode RK4 lebih kecil dari pada metode ABM. Waktu komputasi yang dibutuhkan oleh metode RK4 dalam menyelesaikan model getaran pegas teredam adalah 0,0030675 detik. Sedangkan waktu yang dibutuhkan oleh metode ABM dalam menyelesaikan model getaran pegas teredam adalah 0,023346 detik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa metode RK4 lebih baik jika dibandingkan dengan metode ABM dalam menyelesaikan model getaran pegas teredam.

BAB 5. PENUTUP

Pada bab ini diperoleh kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan yang diperoleh dari penerapan metode RK4 dan ABM pada penyelesaian model getaran pegas teredam, serta diberikan saran yang dapat dilakukan sebagai kelanjutan dari skripsi ini.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Hasil simulasi menggunakan metode RK4 dan ABM menunjukkan bahwa
 1. Semakin besar massa beban yang diberikan kedalam sistem maka gerak getaran pegas akan semakin cepat mencapai posisi kesetimbangan.
 2. Semakin besar nilai redaman yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan gerak getaran pegas semakin cepat untuk mencapai posisi kesetimbangan.
 3. semakin kecil nilai kecepatan awal yang diberikan kedalam sistem maka akan menyebabkan semakin cepat gerak getaran pegas untuk mencapai posisi kesetimbangan.
- b. Waktu komputasi yang dibutuhkan metode RK4 untuk menyelesaikan model getaran pegas teredam lebih cepat dibandingkan metode ABM.
- c. Metode RK4 lebih baik dibandingkan dengan metode ABM. Hal ini dapat dilihat berdasarkan galat (*error*) yang dihasilkan oleh metode RK4 lebih kecil dibandingkan metode ABM.

5.2 Saran

Pada penelitian ini, permasalahan yang dibahas adalah penyelesaian secara numerik model getaran pegas teredam menggunakan metode Runge-Kutta order empat dan Adams-Bashforth-Moulton, sehingga untuk penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan metode yang lain seperti metode Runge-Kutta-Fehlberg, Runge-Kutta Merson maupun Runge-Kutta Gill.

DAFTAR PUSTAKA

Dafik. 1999. *Persamaan Diferensial Biasa (PDB): Masalah Nilai awal dan Batas*. Jember: FKIP Universitas Jember.

Giancoli, D. 1997. *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Hadiansyah, R. 2007. "Profil Getaran Pegas dengan Pengaruh Faktor Redaman Dan Gaya Luar". Tidak diterbitkan. Skripsi. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember.

Halliday, D. 1985. *Fisika Jilid I Edisi Ketiga*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Hidayat, R. 1997. *Matematika Teknik*. Jember: Yayasan Al-Kautsar.

Hidayat, R. 2006. *Persamaan Diferensial Parsial*. Jember: UPT Penerbitan Universitas Jember.

Prihandini, R. M. 2012. "Analisis Solusi Persamaan Korteweg De-Vries (KdV) dengan Menggunakan Metode Prediktor-Korektor Dan Runge-Kutta. Tidak diterbitkan. Skripsi. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember.

Sahid. 2006. *Pengantar Komputasi Numerik dengan MATLAB*. Yogyakarta: Andi.

Soedjojo, P. 1999. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi.

Sutrisno. 1977. *Seri Fisika Fisika Dasar Mekanika*. Bandung: Penerbit ITB Bandung.

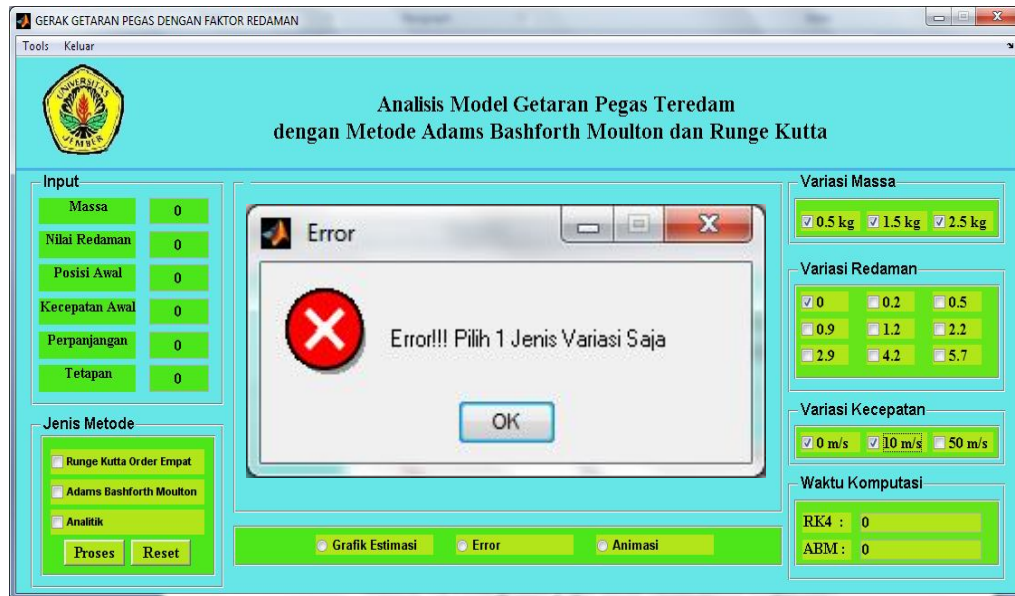
Tipler, P. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Triatmodjo, B. 2002. *Metode Numerik Dilengkapi dengan Program Komputer*. Yogyakarta: Beta Offset.

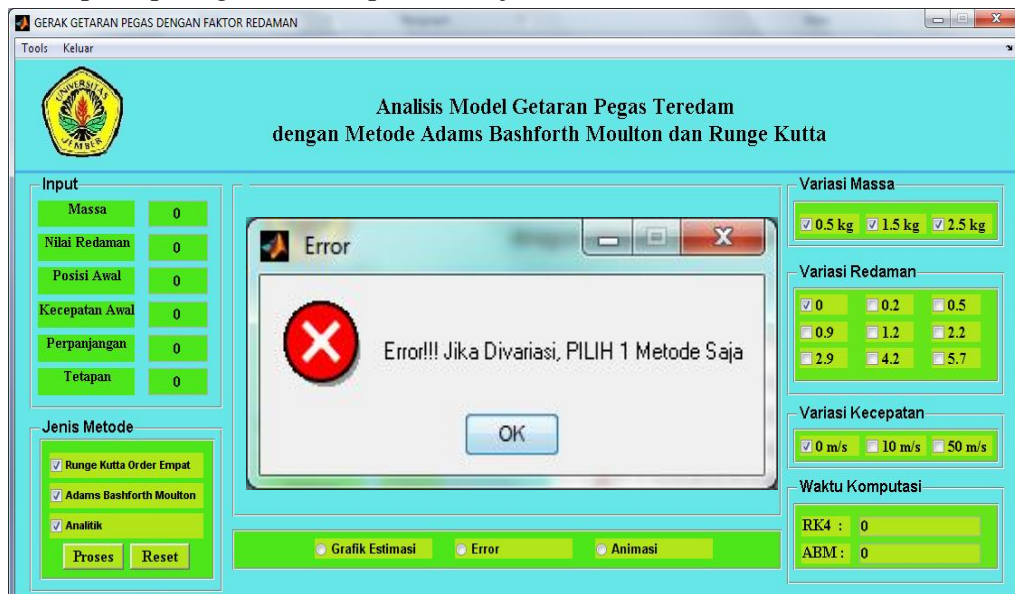
Waluya, Budi. 2006. Buku ajar persamaan diferensial. [http://www.scribd.com/doc/92788050/23/Persamaan Linier dan Tak Linier](http://www.scribd.com/doc/92788050/23/Persamaan_Linier_dan_Tak_Linier). [17 Oktober 2012]

LAMPIRAN

A. Tampilan peringatan untuk pemilihan nilai variasi



B. Tampilan peringatan untuk pemilihan jenis metode



C. Skrip untuk GUI

```

clc; clear all;
close all;
gagal=0; p=0;
s1=0; s2=0;s3=0;s4=0;s5=0;
win1=figure(...
'units','points',...
'position',[50 50 830 400],...
'color',[.4 .9 .9],...
'menubar','none',...
'resize','off',...
'numbertitle','off',...
'name','GERAK GETARAN PEGAS DENGAN FAKTOR REDAMAN');
%=====
    pg = uipanel('parent',win1,...
        'Title','Input','FontSize',12,...
        'units','points',...
        'BackgroundColor',[.4 .9 .9],...
        'fontweight','bold',...
        'Position',[12 140 160 175]);
    pg = uipanel('parent',win1,...
        'Title','Variasi Massa','FontSize',12,...
        'units','points',...
        'BackgroundColor',[.4 .9 .9],...
        'fontweight','bold',...
        'Position',[640 260 180 55]);

    pg = uipanel('parent',win1,...
        'Title','Variasi Redaman','FontSize',12,...
        'units','points',...
        'BackgroundColor',[.4 .9 .9],...
        'fontweight','bold',...
        'Position',[640 150 180 100]);
    pg = uipanel('parent',win1,...
        'Title','Variasi Kecepatan','FontSize',12,...
        'units','points',...
        'BackgroundColor',[.4 .9 .9],...
        'fontweight','bold',...
        'Position',[640 95 180 50]);
    pg = uipanel('parent',win1,...
        'Title','Waktu Komputasi','FontSize',12,...
        'units','points',...
        'BackgroundColor',[.4 .9 .9],...
        'fontweight','bold',...
        'Position',[640 10 180 80]);
    pg = uipanel('parent',win1,...
        'Title','Jenis Metode','FontSize',12,...
        'units','points',...
        'BackgroundColor',[.4 .9 .9],...
        'fontweight','bold',...
        'Position',[12 4 160 130]);

```

```

pg = uipanel('parent',win1,...
            'Title',' ','FontSize',12,...
            'units','points',...
            'fontweight','bold',...
            'BackgroundColor',[.4 .9 .9],...
            'Position',[180 60 455 255]);

%=====
labell=icontrol('parent',win1,...
               'units','points',...
               'position',[145 350 600 24],...
               'style','Text',...
               'string',' Analisis Model Getaran Pegas Teredam',...
               'backgroundcolor',[.4 .9 .9],...
               'fontname','Times New Roman',...
               'fontsize',17,...
               'fontweight','bold',...
               'foregroundcolor',[.0 .0 .0]);

labell=icontrol('parent',win1,...
               'units','points',...
               'position',[145 330 600 24],...
               'style','Text',...
               'string','dengan Metode Adams Bashforth Moulton dan Runge Kutta',...
               'backgroundcolor',[.4 .9 .9],...
               'fontname','Times New Roman',...
               'fontsize',17,...
               'fontweight','bold',...
               'foregroundcolor',[.0 .0 .0]);

labell=icontrol('parent',win1,...
               'units','points',...
               'position',[0 315 830 2],...
               'style','Text',...
               'backgroundcolor',[.3 .7 .9],...
               'foregroundcolor',[1 1 1]);

%=====
labell=icontrol('parent',win1,...
               'units','points',...
               'position',[19 275 80 20],...
               'style','Text',...
               'string','Massa',...
               'backgroundcolor',[.3 .9 .1],...
               'fontname','Times New Roman',...
               'fontsize',11,...
               'fontweight','bold');

edit1=icontrol('parent',win1,...
               'units','points',...
               'position',[110 275 50 20],...

```

```

'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.3 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[19 250 80 20],...
'style','Text',...
'string','Nilai Redaman',...
'backgroundcolor',[.3 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',11,...
'fontweight','bold');

edit2=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 250 50 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.3 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[19 225 80 20],...
'style','Text',...
'string','Posisi Awal',...
'backgroundcolor',[.3 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',11,...
'fontweight','bold');

edit3=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 225 50 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.3 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[19 200 80 20],...
'style','Text',...

```

```

'string', 'Kecepatan Awal', ...
'backgroundcolor', [.3 .9 .1], ...
'fontname', 'Times New Roman', ...
'fontsize', 11, ...
'fontweight', 'bold');

edit4=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [110 200 50 20], ...
'style', 'edit', ...
'string', '0', ...
'backgroundcolor', [.3 .9 .1], ...
'fontname', 'Times New Roman', ...
'fontsize', 12, ...
'fontweight', 'bold');

labell=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [19 175 80 20], ...
'style', 'Text', ...
'string', 'Perpanjangan', ...
'backgroundcolor', [.3 .9 .1], ...
'fontname', 'Times New Roman', ...
'fontsize', 11, ...
'fontweight', 'bold');

edit5=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [110 175 50 20], ...
'style', 'edit', ...
'string', '0', ...
'backgroundcolor', [.3 .9 .1], ...
'fontname', 'Times New Roman', ...
'fontsize', 12, ...
'fontweight', 'bold');

labell=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [19 150 80 20], ...
'style', 'Text', ...
'string', 'Tetapan', ...
'backgroundcolor', [.3 .9 .1], ...
'fontname', 'Times New Roman', ...
'fontsize', 11, ...
'fontweight', 'bold');

edit6=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [110 150 50 20], ...
'style', 'edit', ...
'string', '0', ...

```



```

'backgroundcolor',[.3 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');
%=====
% Create the button group.
h = uibuttongroup('visible','off','units','points','Position',[180
20 455 30],'backgroundcolor',[.3 .9 .1]);
% Create three radio buttons in the button group.
u0 = uicontrol('Style','Radio','String','Grafik Estimasi',...
    'pos',[90 10 130
20],'parent',h,'HandleVisibility','off','fontsize',10,'fontweight','
bold','backgroundcolor',[.7 .9 .1]);
u1 = uicontrol('Style','Radio','String','Error',...
    'pos',[245 10 130
20],'parent',h,'HandleVisibility','off','fontsize',10,'fontweight','
bold','backgroundcolor',[.7 .9 .1]);
u2 = uicontrol('Style','Radio','String','Animasi',...
    'pos',[400 10 130
20],'parent',h,'HandleVisibility','off','fontsize',10,'fontweight','
bold','backgroundcolor',[.7 .9 .1]);
set(h,'SelectedObject',[]);
set(h,'Visible','on');
%=====
% Create the button group.
h1 = uibuttongroup('visible','off','units','points','Position',[20
13 145 105],'BackgroundColor',[.3 .9 .1]);
h2 = uibuttongroup('visible','off','units','points','Position',[645
265 170 30],'BackgroundColor',[.4 .9 .1]);
h3 = uibuttongroup('visible','off','units','points','Position',[645
160 170 70],'BackgroundColor',[.4 .9 .1]);
h4 = uibuttongroup('visible','off','units','points','Position',[645
100 170 25],'BackgroundColor',[.4 .9 .1]);
h5 = uibuttongroup('visible','off','units','points','Position',[645
20 170 50],'BackgroundColor',[.4 .9 .1]);
% Create three radio buttons in the button group.
u01 = uicontrol('Style','Check','String','Runge Kutta Order
Empat',...
    'pos',[10 100 170
25],'parent',h1,'HandleVisibility','off','BackgroundColor',[.7 .9
.1],'fontweight','bold');
u11 = uicontrol('Style','Check','String','Adams Bashforth
Moulton',...
    'pos',[10 70 170
25],'parent',h1,'HandleVisibility','off','BackgroundColor',[.7 .9
.1],'fontweight','bold');
u12 = uicontrol('Style','Check','String','Analitik',...
    'pos',[10 40 170
25],'parent',h1,'HandleVisibility','off','BackgroundColor',[.7 .9
.1],'fontweight','bold');
% Initialize some button group properties.
set(h1,'SelectedObject',[]); % No selection

```

```

set(h1, 'Visible', 'on');
set(h2, 'SelectedObject', []);
set(h2, 'Visible', 'on');
set(h3, 'SelectedObject', []);
set(h3, 'Visible', 'on');
set(h4, 'SelectedObject', []);
set(h4, 'Visible', 'on');
set(h5, 'SelectedObject', []);
set(h5, 'Visible', 'on');
%=====
prosl1=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[95 20 50 20],...
    'style','Pushbutton',...
    'callback','PEGAS',...
    'string','Reset',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
prosl2=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[40 20 50 20],...
    'style','Pushbutton',...
    'callback','PROSES',...
    'string','Proses',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
%=====
grafik1=axes('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[10 325 90 70],...
    'fontsize',8,...
    'color',[1 1 1]);
olmat=imread('unej.jpg');
imshow(olmat);
set(win1,'CurrentAxes',grafik1);

grafik3=axes('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[220 90 404 190],...
    'fontsize',9,...
    'color',[.4 .9 .9]);
olmat1=imread('forced.jpg');
imshow(olmat1);
set(win1,'CurrentAxes',grafik3);
%=====
menu2=uimenu('parent',win1,...
    'Label',' Tools ');
menu1_1=uimenu('parent',menu2,...

```

```

        'Label', 'Zoom', ...
        'Callback', 'besar');
menu1_1=uiMENU('parent', menu2, ...
    'Label', 'Pan', ...
    'Callback', 'geser');
menu2=uiMENU('parent', win1, ...
    'Label', 'Keluar', ...
    'Callback', 'close');
%=====
% VARIASI MASSA
M1=uiCONTROL('parent', win1, ...
    'units', 'points', ...
    'position', [650 270 50 15], ...
    'style', 'CheckBox', ...
    'string', '0.5 kg', ...
    'BackgroundColor', [.7 .9 .1], ...
    'callback', 'evaluasi', ...
    'fontweight', 'bold', ...
    'fontname', 'times new roman', ...
    'fontsize', 12);
M2=uiCONTROL('parent', win1, ...
    'units', 'points', ...
    'position', [705 270 50 15], ...
    'fontweight', 'bold', ...
    'style', 'CheckBox', ...
    'callback', 'evaluasi', ...
    'string', '1.5 kg', ...
    'BackgroundColor', [.7 .9 .1], ...
    'fontname', 'times new roman', ...
    'fontsize', 12);
M3=uiCONTROL('parent', win1, ...
    'units', 'points', ...
    'position', [760 270 50 15], ...
    'style', 'CheckBox', ...
    'string', '2.5 kg', ...
    'BackgroundColor', [.7 .9 .1], ...
    'fontname', 'times new roman', ...
    'callback', 'evaluasi', ...
    'fontweight', 'bold', ...
    'fontsize', 12);

% VARIASI REDAMAN
R1=uiCONTROL('parent', win1, ...
    'units', 'points', ...
    'position', [650 210 40 15], ...
    'style', 'CheckBox', ...
    'string', '0', ...
    'BackgroundColor', [.7 .9 .1], ...
    'fontweight', 'bold', ...
    'callback', 'evaluasi', ...
    'fontname', 'times new roman', ...
    'fontsize', 12);

```

```

R2=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[705 210 40 15],...
    'style','CheckBox',...
    'string','0.2',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'callback','evaluasi',...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
R3=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[760 210 40 15],...
    'fontweight','bold',...
    'style','CheckBox',...
    'callback','evaluasi',...
    'string','0.5',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);

R4=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[650 190 40 15],...
    'style','CheckBox',...
    'string','0.9',...
    'callback','evaluasi',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
R5=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[705 190 40 15],...
    'style','CheckBox',...
    'string','1.2',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'callback','evaluasi',...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
R6=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[760 190 40 15],...
    'fontweight','bold',...
    'style','CheckBox',...
    'callback','evaluasi',...
    'string','2.2',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
R7=uicontrol('parent',win1,...

```

```

        'units','points',...
        'position',[650 170 40 15],...
        'style','CheckBox',...
        'string','2.9',...
        'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
        'callback','evaluasi',...
        'fontweight','bold',...
        'fontname','times new roman',...
        'fontsize',12);
R8=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[705 170 40 15],...
    'style','CheckBox',...
    'string','4.2',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'callback','evaluasi',...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
R9=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[760 170 40 15],...
    'fontweight','bold',...
    'callback','evaluasi',...
    'style','CheckBox',...
    'string','5.7',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);

%VARIASI KECEPATAN
V1=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[650 105 50 15],...
    'style','CheckBox',...
    'callback','evaluasi',...
    'string','0 m/s',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
V2=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[705 105 50 15],...
    'callback','evaluasi',...
    'style','CheckBox',...
    'string','10 m/s',...
    'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);
V3=uicontrol('parent',win1,...

```

```

        'units','points',...
        'position',[760 105 50 15],...
        'fontweight','bold',...
        'style','CheckBox',...
        'string','50 m/s',...
        'BackgroundColor',[.7 .9 .1],...
        'fontname','times new roman',...
        'callback','evaluasi',...
        'fontsize',12);
=====
% Waktu Komputasi
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[652 45 40 15],...
'style','Text',...
'string','RK4 :',...
'backgroundcolor',[.7 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'HorizontalAlignment','left',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[700 45 100 15],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.7 .9 .1],...
'HorizontalAlignment','left',...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[652 25 40 15],...
'style','Text',...
'string','ABM :',...
'backgroundcolor',[.7 .9 .1],...
'fontname','Times New Roman',...
'HorizontalAlignment','left',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit41=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[700 25 100 15],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.7 .9 .1],...
'HorizontalAlignment','left',...

```

```
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');
```

D. Skrip untuk proses

```
clc
evaluasi;
ket=cell(1,1);itr=0; hold off; plot(0); hitung=0;
%-----
% Solusi Persamaan Getaran pegas Dengan Faktor Redaman
% Menggunakan Metode Runge Kutta Order Empat
%-----

%Input Parameter
%-----
% input Edit
m=str2num(get(edit1,'string'));           %massa beban
g=10;                                     %gaya gravitasi
xprpanj=str2num(get(edit5,'string'));     %nilai perpanjangan
pegas
b=str2num(get(edit2,'string'));           %nilai redaman
k=str2num(get(edit6,'string'));           %nilai tetapan pegas
w0=k/m;
beta=b/m;
x0=str2num(get(edit3,'string'));          %posisi awal(m)
y0=str2num(get(edit4,'string'));          %kecepatan awal(m/s)

% input Chek
if tot_M==1 % Massa
    if pil_M1==1; m=0.5;w0=k/m;beta=b/m;
    elseif pil_M2==1; m=1.5;w0=k/m;beta=b/m;
    elseif pil_M3==1; m=2.5;w0=k/m;beta=b/m;
    end
end
if tot_R==1 % Redaman
    if pil_R1==1; b=0;beta=b/m;
    elseif pil_R2==1; b=0.2;beta=b/m;
    elseif pil_R3==1; b=0.5;beta=b/m;
    elseif pil_R4==1; b=0.9;beta=b/m;
    elseif pil_R5==1; b=1.2;beta=b/m;
    elseif pil_R6==1; b=2.2;beta=b/m;
    elseif pil_R7==1; b=2.9;beta=b/m;
    elseif pil_R8==1; b=4.2;beta=b/m;
    elseif pil_R9==1; b=5.7;beta=b/m;
    end
end
if tot_V==1 % Kecepatan
    if pil_V1==1; y0=0;
    elseif pil_V2==1; y0=10;
```

```

elseif pil_V3==1; y0=50;
end
end

%nilai awal
%-----
-----
x(1)=x0;           %posisi awal
y(1)=y0;           %kecepatan awal
%-----

pill=get(u01, 'value');pil2=get(u11, 'value');pil3=get(u12, 'value'); %
RK4 ABM ANALITIK
pill1=get(u0, 'value');pill2=get(u1, 'value');pill3=get(u2, 'value'); %
GRAFIK ERROR ANIMASI
%-----
% VARIASI MASSA
if tot_M >1 % Klik
    if pil_M1==1
        m=0.5;w0=k/m;beta=b/m; ANALITIK_RK;
        Grafik;
        if pill==1
            if pill1==1
                plot(t,x, '-.r');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih, '-.r'); hold on;
            end
        elseif pil2==1
            if pill1==1
                plot(t,x1, '-.r');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih1, '-.r'); hold on;
            end
        else
            plot(t,x_analitik, '-.r');hold on;
        end
    end

    if pil_M2==1
        m=1.5;w0=k/m;beta=b/m; ANALITIK_RK;
        Grafik;
        if pill==1
            if pill1==1
                plot(t,x, '-.g');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih, '-.g'); hold on;
            end
        elseif pil2==1
            if pill1==1
                plot(t,x1, '-.g');hold on;
            elseif pill2==1

```



```

        plot(t(1:n1),selisih1,'.-g'); hold on;
    end
else
    plot(t,x_analitik,'.-g');hold on;
end
end

if pil_M3==1
    m=2.5;w0=k/m;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill1==1
            plot(t,x,'.-b');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-b'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill1==1
            plot(t,x1,'.-b');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-b'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-b');hold on;
    end
end

end % akhir VARIASI MASSA

% VARIASI REDAMAN
if tot_R >1 % Klik
    if pil_R1==1
        b=0;beta=b/m; ANALITIK_RK;
        Grafik;
        if pill==1
            if pill1==1
                plot(t,x,'.-r');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih,'.-r'); hold on;
            end
        elseif pil2==1
            if pill1==1
                plot(t,x1,'.-r');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih1,'.-r'); hold on;
            end
        else
            plot(t,x_analitik,'.-r');hold on;
        end
    end
end
end

```

```

if pil_R2==1
    b=0.2;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill1==1
            plot(t,x,'.-g');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-g'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill1==1
            plot(t,x1,'.-g');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-g'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-g');hold on;
    end
end

if pil_R3==1
    b=0.5;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill1==1
            plot(t,x,'.-b');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-b'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill1==1
            plot(t,x1,'.-b');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-b'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-b');hold on;
    end
end

if pil_R4==1
    b=0.9;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill1==1
            plot(t,x,'.-m');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-m'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill1==1
            plot(t,x1,'.-m');hold on;

```

```

        elseif pill12==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-m'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-m');hold on;
    end
end
if pil_R5==1
    b=1.2;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill11==1
            plot(t,x,'.-y');hold on;
        elseif pill12==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-y'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill11==1
            plot(t,x1,'.-y');hold on;
        elseif pill12==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-y'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-y');hold on;
    end
end
if pil_R6==1
    b=2.2;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill11==1
            plot(t,x,'.-c');hold on;
        elseif pill12==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-c'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill11==1
            plot(t,x1,'.-c');hold on;
        elseif pill12==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-c'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-c');hold on;
    end
end
if pil_R7==1
    b=2.9;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill11==1
            plot(t,x,'.-k');hold on;
        elseif pill12==1

```

```

        plot(t(1:n1),selisih,'.-k'); hold on;
    end
elseif pil2==1
    if pill1==1
        plot(t,x1,'.-k');hold on;
    elseif pill2==1
        plot(t(1:n1),selisih1,'.-k'); hold on;
    end
else
    plot(t,x_analitik,'.-k');hold on;
end
end
if pil_R8==1
    b=4.2;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill1==1
            plot(t,x,'.-m');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-m'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill1==1
            plot(t,x1,'.-m');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-m'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-m');hold on;
    end
end
if pil_R9==1
    b=5.7;beta=b/m; ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill1==1
            plot(t,x,'.-k');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-k'); hold on;
        end
    elseif pil2==1
        if pill1==1
            plot(t,x1,'.-k');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-k'); hold on;
        end
    else
        plot(t,x_analitik,'.-k');hold on;
    end
end
end % akhir VARIASI REDAMAN

```

```

if tot_V >1 % Klik
    if pil_V1==1
        y0=0; ANALITIK_RK;
        Grafik;
        if pill==1
            if pill1==1
                plot(t,x,'.-r');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih,'.-r'); hold on;
            end
        elseif pil2==1
            if pill1==1
                plot(t,x1,'.-r');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih1,'.-r'); hold on;
            end
        else
            plot(t,x_analitik,'.-r');hold on;
        end
    end

    if pil_V2==1
        y0=10; ANALITIK_RK;
        Grafik;
        if pill==1
            if pill1==1
                plot(t,x,'.-g');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih,'.-g'); hold on;
            end
        elseif pil2==1
            if pill1==1
                plot(t,x1,'.-g');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih1,'.-g'); hold on;
            end
        else
            plot(t,x_analitik,'.-g');hold on;
        end
    end

    if pil_V3==1
        y0=50; ANALITIK_RK;
        Grafik;
        if pill==1
            if pill1==1
                plot(t,x,'.-b');hold on;
            elseif pill2==1
                plot(t(1:n1),selisih,'.-b'); hold on;
            end
        end
    end
end

```

```

elseif pil2==1
    if pill1==1
        plot(t,x1,'.-b');hold on;
    elseif pill2==1
        plot(t(1:n1),selisih1,'.-b'); hold on;
    end
else
    plot(t,x_analitik,'.-b');hold on;
end
end

end % akhir VARIASI KECEPATAN

if tot_V<2 && tot_M<2 && tot_R<2 % untuk tanpa Variasi Parameter
    ANALITIK_RK;
    Grafik;
    if pill==1
        if pill1==1
            plot(t,x,'.-r');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih,'.-r'); hold on;
        end
    end
    if pil2==1
        if pill1==1
            plot(t,x1,'.-g');hold on;
        elseif pill2==1
            plot(t(1:n1),selisih1,'.-g'); hold on;
        end
    end
    if pil3==1 && pill1==1;
        plot(t,x_analitik,'.-b');hold on;
    end
end
if pill3==0
    legend(ket);
end
if pill1==1
    xlabel('Waktu (detik)');
    ylabel('Posisi(meter)');
end
if pill2==1
    xlabel('Waktu (detik)');
    ylabel('Galat');
end

if pill==1
    tot_waktuRK=sum(waktuRK); tot_waktuRK=num2str(tot_waktuRK);
    set(edit31,'string',tot_waktuRK);
end
if pil2==0

```

```

set(edit41, 'string', '-');
end

if pil2==1
tot_waktuABM=sum(waktuABM); tot_waktuABM=num2str(tot_waktuABM);
set(edit41, 'string', tot_waktuABM);
end
if pil1==0
set(edit31, 'string', '-');
end

```

E. Skrip untuk grafik

```

% UNTUK MENGGAMBAR GRAFIK
if pil1==1 % metode RK4
if pil11==1 % grafik
if tot_M>1
rata=num2str(m);
ul=['Massa = ', rata];itr=itr+1;
ket(itr,1)={ul};
elseif tot_R>1
rata=num2str(b);
ul=['Redaman = ', rata];itr=itr+1;
ket(itr,1)={ul};
elseif tot_V>1
rata=num2str(y0);
ul=['Kecepatan = ', rata];itr=itr+1;
ket(itr,1)={ul};
else % bukan variasi
ul=['Runge Kutta order 4'];itr=itr+1;
ket(itr,1)={ul};

end

elseif pil12==1
n1=length(x)-1;
selisih=abs(x(1:n1)-x_analitik(1:n1));
plot(t(1:n1),selisih,'.-b'); hold on;
rata=num2str(mean(selisih));
if tot_M>1
m1=num2str(m);
ul=['Massa ',m1,' = ', rata];itr=itr+1;
ket(itr,1)={ul};
elseif tot_R>1
r1=num2str(b);
ul=['Redaman ',r1,' = ', rata];itr=itr+1;
ket(itr,1)={ul};
elseif tot_V>1
v1=num2str(y0);
ul=['Kecepatan ',v1,' = ', rata];itr=itr+1;
ket(itr,1)={ul};
end
end

```

```

else % bukan variasi
    ul=['Galat RK4= ',rata];itr=itr+1;
    ket(itr,1)={ul};

end

elseif pil13==1
    animasi;

end

end

if pil2==1 % metode ABM
    if pil11==1 % grafik
        plot(t,x1,'.-r');hold on;
        if tot_M>1
            rata=num2str(m);
            ul=['Massa = ', rata];itr=itr+1;
            ket(itr,1)={ul};
        elseif tot_R>1
            rata=num2str(b);
            ul=['Redaman = ', rata];itr=itr+1;
            ket(itr,1)={ul};
        elseif tot_V>1
            rata=num2str(y0);
            ul=['Kecepatan = ', rata];itr=itr+1;
            ket(itr,1)={ul};
        else % bukan variasi
            ul=['Adam Basforth Moulton'];itr=itr+1;
            ket(itr,1)={ul};

        end

    elseif pil12==1
        n1=length(x1)-1;
        selisih1=abs(x1(1:n1)-x_analitik(1:n1));
        plot(t(1:n1),selisih,'.-r'); hold on;
        rata=num2str(mean(selisih1));
        if tot_M>1
            m1=num2str(m);
            ul=['Massa ',m1,' = ', rata];itr=itr+1;
            ket(itr,1)={ul};
        elseif tot_R>1
            r1=num2str(b);
            ul=['Redaman ',r1,' = ', rata];itr=itr+1;
            ket(itr,1)={ul};
        elseif tot_V>1
            v1=num2str(y0);
            ul=['Kecepatan ',v1,' = ', rata];itr=itr+1;
            ket(itr,1)={ul};
        end
    end
end

```



```

else % bukan variasi
    ul=['Galat ABM= ',rata];itr=itr+1;
    ket(itr,1)={ul};

end

elseif pil13==1
    animasi;
end
end

if pil3==1
%   plot(t,x_analitik,'.-g'); hold on;
    if tot_M>1
        rata=num2str(m);
        ul=['Massa = ', rata];itr=itr+1;
        ket(itr,1)={ul};
    elseif tot_R>1
        rata=num2str(b);
        ul=['Redaman = ', rata];itr=itr+1;
        ket(itr,1)={ul};
    elseif tot_V>1
        rata=num2str(y0);
        ul=['Kecepatan = ', rata];itr=itr+1;
        ket(itr,1)={ul};
    else % bukan variasi
        ul=['Analitik'];itr=itr+1;
        ket(itr,1)={ul};

    end

end

end

```

F. Skrip untuk metode

```

%-----
%Solusi Analitik
duration=20; %lama waktu penyelesaian
x=[];y=[]; hitung=hitung+1;
x_analitik=zeros(1,100*duration+1);
x_analitik(1)=x0;
D=b^2-4*m*k;

%-----

%iterasi untuk menemukan solusi dengan metode runge kutta order
empat
%-----
waktu=tic;

```

```

h=0.01; %ukuran langkah(tahapan waktu)

Nstep=round(duration/h);
t=0:h:Nstep*h; %hasil dari vektor waktu
x=zeros(size(t)); %posisi x
y=zeros(size(t)); %kecepatan y
x(1)=x0;y(1)=y0;

%-----
for n=2:Nstep
    f=y(n-1) ; %f(x,y,t) is dx/dt
    g1=-beta*y(n-1)-w0*x(n-1); %g(x,y,t) is dy/dt
    a1=f;
    b1=g1;
    a2=f+((1/2)*h*b1);
    b2=-beta*(y(n-1)+((1/2)*h*b1))-w0*(x(n-1)+((1/2)*h*a1));
    a3=f+(1/2)*h*b2;
    b3=-beta*(y(n-1)+((1/2)*h*b2))-w0*(x(n-1)+((1/2)*h*a2));
    a4=f+(h*b3);
    b4=-beta*(y(n-1)+(b3*h))-w0*(x(n-1)+(a3*h));
    x(n)=x(n-1)+h/6*(a1+2*a2+2*a3+a4);
    y(n)=y(n-1)+h/6*(b1+2*b2+2*b3+b4);
end
%-----
waktuRK(hitung)=toc(waktu);

%-----
% Solusi Persamaan Getaran pegas Dengan Faktor Redaman
% Menggunakan Metode Runge Kutta Adams Bashforth Moulton
%-----
%parameter integrasi
%-----
h=0.01; %ukuran langkah(tahapan waktu)
Nstep=round(duration/h);
t=0:h:Nstep*h; %hasil dr vektor waktu
x1=zeros(size(t)); %posisi x
y1=zeros(size(t)); %kecepatan y
%-----
%nilai awal
%-----
waktu=tic;
x1(1)=x0; %posisi awal
y1(1)=y0; %kecepatan awal
%-----

%iterasi untuk menemukan solusi dengan metode runge kutta order empat
%-----
    f=y1(n-1); %f(x,y,t) is dx/dt
    g1=-beta*y1(n-1)-w0*x1(n-1); %g(x,y,t) is dy/dt
    a1=f;

```

```

b1=g1;
a2=f+((1/2)*h*b1);
b2=-beta*(y1(n-1)+((1/2)*h*b1))-w0*(x1(n-1)+((1/2)*h*a1));
a3=f+(1/2)*h*b2;
b3=-beta*(y1(n-1)+((1/2)*h*b2))-w0*(x1(n-1)+((1/2)*h*a2));
a4=f+(h*b3);
b4=-beta*(y1(n-1)+(b3*h))-w0*(x1(n-1)+(a3*h));
x1(n)=x1(n-1)+h/6*(a1+2*a2+2*a3+a4);
y1(n)=y1(n-1)+h/6*(b1+2*b2+2*b3+b4);
end

for n=4:Nstep
f(n)=y1(n);
f(n-1)=y1(n-1);
f(n-2)=y1(n-2);
f(n-3)=y1(n-3);
g1(n)=-beta*y1(n)-w0*x1(n);
g1(n-1)=-beta*y1(n-1)-w0*x1(n-1);
g1(n-2)=-beta*y1(n-2)-w0*x1(n-2);
g1(n-3)=-beta*y1(n-3)-w0*x1(n-3);

%Estimasi nilai posisi baru dan kecepatan baru
%dengan metode Adams Bashforth order tiga
x1(n)=x1(n-1)+(h/12)*(23*f(n-1)-16*f(n-2)+5*f(n-3));
y1(n)=y1(n-1)+(h/12)*(23*g1(n-1)-16*g1(n-2)+5*g1(n-3));

%Estimasi nilai posisi baru dan kecepatan baru dengan metode
%Adams Moulton order empat
x1(n)=x1(n-1)+(h/24)*(9*f(n)+19*f(n-1)-5*f(n-2)+f(n-3));
y1(n)=y1(n-1)+(h/24)*(9*g1(n)+19*g1(n-1)-5*g1(n-2)+g1(n-3));

end

waktuABM(hitung)=toc(waktu);
%-----
%Solusi Analitik

if D>0
C2=m*(x0*(-b/(2*m)+sqrt(D)/(2*m))-y0)/sqrt(D);
C1=x0-C2;
t11=1;
for t1=0:h:duration
x_analitik(t11)=(C1)*exp((-b/(2*m)+sqrt(D)/(2*m))*t1)+
C2*exp((-b/(2*m)-sqrt(D)/(2*m))*t1);
t11=t11+1;
end

end
if D<0

```

```

A=x0;
B=(y0+(A*b/(2*m)))*(2*m/sqrt(-D));
t11=1;
for t1=0:h:duration
    x_analitik(t11)=exp(-b*t1/(2*m))*(A*cos(sqrt(-
D)*t1/(2*m))+B*sin(sqrt(-D)*t1/(2*m)));
    t11=t11+1;
end
end
end

```

G. Skrip Evaluasi

```

% jenis metode
pil1=get(u01, 'value');pil2=get(u11, 'value');pil3=get(u12, 'value');
tot_J=pil1+pil2+pil3;

% jenis output
pil11=get(u0, 'value');pil12=get(u1, 'value');pil13=get(u2, 'value');

% variasi massa
pil_M1=get(M1, 'value');pil_M2=get(M2, 'value');pil_M3=get(M3, 'value')
;
tot_M=pil_M1+pil_M2+pil_M3;

% variasi REDAMAN
pil_R1=get(R1, 'value');pil_R2=get(R2, 'value');pil_R3=get(R3, 'value')
;
pil_R4=get(R4, 'value');pil_R5=get(R5, 'value');pil_R6=get(R6, 'value')
;
pil_R7=get(R7, 'value');pil_R8=get(R8, 'value');pil_R9=get(R9, 'value')
;
tot_R=pil_R1+pil_R2+pil_R3+pil_R4+pil_R5+pil_R6+pil_R7+pil_R8+pil_R9
;

% variasi KECEPATAN
pil_V1=get(V1, 'value');pil_V2=get(V2, 'value');pil_V3=get(V3, 'value')
;
tot_V=pil_V1+pil_V2+pil_V3;

% EVALUASI JENIS VARIASI

if tot_M>1 && tot_R>1
    errordlg('Error!!! Pilih 1 Jenis Variasi Saja', ' Error');
    gagal=1;
    break;
elseif tot_M>1 && tot_V>1
    errordlg('Error!!! Pilih 1 Jenis Variasi Saja', ' Error');

```

```

        gagal=1;
        break;
elseif tot_R>1 && tot_V>1
    errordlg('Error!!! Pilih 1 Jenis Variasi Saja',' Error');
    gagal=1;
    break;
else
    gagal=0;
end
% EVALUASI VARIASI DGN JENIS METODE
if tot_V > 1 | tot_M>1 | tot_R>1
    vars=1;
else
    vars=0;
end

if tot_J>1 && vars==1
    errordlg('Error!!! Jika Divariasi, PILIH 1 Metode Saja','
Error');
    gagal=1;
    break;
else
    gagal=0;
end

%EVALUASI UNTUK PILIHAN ANIMASI
if tot_J>1 && pill3==1
    errordlg('Error!!! ANIMASI hanya Untuk 1 Metode',' Error');
    gagal=1;
    break;
else
    gagal=0;
end

if vars==1 && pill3==1
    errordlg('Error!!! ANIMASI Tidak Untuk Divariasi',' Error');
    gagal=1;
    break;
else
    gagal=0;
end
%-----

```