

## PERBANDINGAN HASIL PENYELESAIAN PERSAMAAN GERAK ROKET DENGAN METODE NUMERIK (METODE RUNGE KUTTA DAN METODE ADAMS BASHFORTH MOULTON)

### ABSTRAK

Dalam tugas akhir ini dibahas penurunan persamaan gerak roket yang merupakan Sistem Persamaan Diferensial Biasa non linier. Sistem persamaan ini sulit diselesaikan secara analitik, sehingga perlu dicari solusi secara numerik. Metode Runge Kutta dan metode Adams Bashforth Moulton adalah metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan gerak roket. Dengan diketahui massa awal roket, gaya dorong, waktu pembakaran, luas penampang roket dan sudut elevasi awal roket, hasil perhitungan seperti jarak horizontal, ketinggian dan kecepatan roket setiap saat dari mulai terbang sampai jatuh ke tanah dapat diketahui. Hasil perhitungan dengan kedua metode menunjukkan bahwa dengan besar gaya dorong yang sama, semakin besar sudut elevasi awal, roket semakin tinggi, sedangkan kecepatan dan jarak horizontal semakin kecil. Pada sudut 80 derajat dan gaya dorong 4500 N, serta selang interval  $h = 0.3$  besar kecepatan maksimum, tinggi maksimum dan jarak horizontal roket dengan metode Runge Kutta hampir sama dengan metode Adams Bashforth Moulton di mana bedanya kurang dari 0.5 %, namun waktu yang diperlukan untuk menjalankan program pada metode Runge Kutta lebih cepat daripada dengan metode Adams Bashforth Moulton.

**Kata kunci:** Roket, Sistem Persamaan Diferensial Biasa nonlinier, Metode Runge Kutta dan Adams Bashforth Moulton.

## THE COMPARISON OF ROCKET MOVEMENT EQUATION'S SOLUTION USING NUMERICAL METHODS (RUNGE KUTTA AND ADAMS BASHFORTH MOULTON METHODS)

### ABSTRACT

This final project examines the derivation of rocket movement equation which is a nonlinear Ordinary Differential Equation System. This system is difficult to be solved analytically so that we need to find the numerical solutions. Runge Kutta and Adams Bashforth Moulton method are the numerical methods which can be used to solved the rocket movement equation system. By specifying rocket's initial weight, propulsion, burning time, longitudinal section area and initial elevation angle, the calculation result such as horizontal distance, height and velocity of rocket at anytime from taking off up to landing on the ground can be defined. The solutions of both methods show that in the same propulsion, the bigger initial elevation angle, the higher the rocket is, meanwhile, velocity and horizontal distance become lesser. In initial elevation angle 80 degree, propulsion 4500 N and interval range  $h=0.3$ , the solutions of both methods are similar, but the time used to run the program on Runge Kutta method is faster than it is on Adams Bashforth Moulton method.

**Key words:** Rocket, Nonlinear Ordinary Differential Equation System, Runge-Kutta and Adams Bashforth Moulton method.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Banyak fenomena dunia nyata seperti penambahan populasi, permintaan terhadap suatu barang, kecepatan benda jatuh dan lain-lain yang dapat dimodelkan dalam bentuk persamaan diferensial. Gerak roket merupakan salah satu contoh kejadian yang dapat dimodelkan dalam bentuk sistem persamaan diferensial.

Roket merupakan suatu pesawat yang mempunyai kecepatan tinggi dan melakukan pembakaran sendiri untuk penerbangannya. Saat ini roket mempunyai banyak peranan, diantaranya untuk meluncurkan satelit, sebagai peluru kendali dalam perang, untuk penelitian atmosfer dan lain sebagainya.

Selain itu roket juga dapat dikontrol dari tempat lain untuk menentukan bagaimana letak dan ketinggiannya. Untuk mendapatkan kecepatan, ketinggian dan jarak horizontal diperlukan adanya suatu sistem persamaan gerak roket.

Sistem persamaan gerak roket merupakan suatu sistem persamaan diferensial biasa non linier. Sistem persamaan ini sulit diselesaikan secara analitik, sehingga diperlukan metode lain untuk menyelesaikannya, yaitu dengan metode numerik.

Terdapat banyak metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan suatu persamaan diferensial, diantaranya metode Runge Kutta dan metode Adams Bashforth Moulton. Metode ini adalah metode yang bisa digunakan untuk menyelesaikan suatu sistem persamaan diferensial biasa (Sembiring, T., 2000).

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana menyelesaikan sistem persamaan roket untuk mencari kecepatan, ketinggian dan jarak horizontal dari roket yang dihitung dengan metode Runge Kutta orde empat dan metode Adams Bashforth Moulton orde empat ?
2. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan dari kedua metode tersebut ?

### 1.3 Batasan Masalah

1. Ketinggian dan jarak jangkauan roket sangat kecil jika dibandingkan dengan jari-jari bumi, sehingga bumi dianggap datar dan tidak berputar.
1. Nilai awal pada metode Adams Bashforth Moulton dihitung dengan metode Runge Kutta orde empat.
2. Koefisien gaya hambat ( $C_d$ ) dianggap konstan yaitu sebesar 0,009.
3. Roket yang digunakan adalah roket balistik satu tingkat.

### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Mengetahui besarnya kecepatan, ketinggian dan jarak horizontal dari roket dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat dan metode Adams Bashforth Moulton orde empat.
2. Mengetahui perbandingan hasil perhitungan dari kedua metode.

### 1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan ini adalah untuk mengetahui kemampuan metode Runge Kutta

dan metode Adams Bashforth Moulton dalam menyelesaikan persamaan gerak suatu benda.



## BAB II DASAR TEORI

Gerakan suatu roket dapat direduksi menjadi sistem persamaan diferensial. Sistem tersebut dapat diselesaikan dengan metode numerik, diantaranya dengan metode satu langkah (Runge Kutta) dan metode multi langkah (Adams Bashforth Moulton).

### 2.1 Roket

Roket adalah wahana peluncur yang konfigurasiya terdiri dari beberapa komponen yaitu, hidung, badan dan sirip, yang diintegrasikan merupakan satu-kesatuan yang kompak yang biasa digunakan untuk peluncur satelit dan peluru kendali (Ginting, S. dan Endang, S., 2000).

#### 2.1.1 Asas Gerak Roket

Sebuah roket mendapatkan dorongan dengan membakar propelan (bahan bakar) dan membuang gas yang terbentuk lewat belakang. Roket mengerjakan gaya pada gas buang dan gas buang melakukan gaya yang sama dan berlawanan arah, sehingga roket terdorong ke depan.

Gambar 2.1 Gaya yang bekerja pada roket.

Roket pada prinsipnya mempunyai 3 gaya yaitu gaya dorong (*thrust*) yang mendorong roket ke atas, gaya gravitasi (*gravity*) yang menarik ke bawah dan gaya hambat (*drag*). Gambar 2.1 menunjukkan hubungan dari ketiga gaya tersebut.

Gaya dorong adalah gaya yang terbentuk dari hasil pembakaran. Sedangkan gaya hambat adalah perlawanan udara, yaitu gaya yang menghambat ketika roket mendapatkan dorongan di udara. Gaya hambat ini selalu menarik pesawat ke belakang arah lintasan, baik saat roket naik ataupun saat roket turun. Persamaan gaya hambat dituliskan sebagai berikut

$$H = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad (2.1)$$

di mana

H = gaya hambat

$\rho$  = rapat massa udara

$C_d$  = koefisien gaya hambat roket

A = luas penampang roket

V = kecepatan roket

Total gaya adalah hasil penjumlahan dari semua gaya yang bekerja pada roket. Gaya-gaya tersebut adalah gaya dorong (*thrust*) pada arah positif, gaya gravitasi dan gaya hambat pada

### BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan bagaimana penurunan sistem persamaan gerak roket. Ditunjukkan juga hasil perhitungan dari metode Runge Kutta dan Adams Bashforth Moulton orde empat pada beberapa sudut yang berbeda, yaitu 80, 70 dan 40 derajat. Serta dengan besar gaya dorong yang berbeda, yaitu 3450 N, 4500 N dan 10000 N. Kemudian hasil perhitungan tersebut dibandingkan antara besar kecepatan, jarak tempuh dan ketinggian roket selama terbang.

#### 3.1 Pembentukan Sistem Persamaan Gerak Roket

Gambar 3.1 Komponen gaya pada peluncuran roket.

Sistem persamaan gerak roket dua dimensi dipengaruhi oleh besar sudut dan adanya komponen horizontal dan vertikal untuk semua parameternya. Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa sudut terbang dari awal mengalami perubahan dari komponen kecepatan, yaitu kecepatan horizontal ( $V_x$ ) dan kecepatan vertikal ( $V_y$ ), yaitu

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{V_y}{V_x} \quad (3.1)$$

sehingga sudut terbang adalah:

$$\gamma = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{V_y}{V_x} \quad (3.2)$$

Dengan menerapkan dalil *Pythagoras*, didapatkan persamaan kecepatan roket, yaitu:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (3.3)$$

dan dengan menggunakan rumus trigonometri masing-masing kecepatan horizontal dan vertikal didapatkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_x &= V \cos \gamma \\ V_y &= V \sin \gamma \end{aligned} \quad (3.4)$$

Kecepatan merupakan turunan dari fungsi jarak terhadap waktu, sehingga untuk kecepatan horizontal dan kecepatan vertikal dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dJ}{dt} &= V \cos \gamma \\ \frac{dT}{dt} &= V \sin \gamma \end{aligned} \quad (3.5)$$

Selama terbang roket mengalami perubahan kecepatan yang biasa disebut percepatan. Dari hukum kedua Newton

$$F_t = ma \quad (3.6)$$

didapatkan percepatan sebagai berikut

$$a = \frac{F_t}{m} \quad (3.7)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.2) ke persamaan (3.7) diperoleh

$$a = \frac{F - H - mg}{m} \quad (3.8)$$

Dari Gambar 3.1 diketahui bahwa roket bergerak sepanjang bidang miring, sehingga

## BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan metode Runge Kutta perhitungan dengan sudut awal 80 derajat dan gaya dorong 3450 N didapatkan tinggi maksimum sebesar 297.1499 m, dengan sudut awal 70 derajat sebesar 182.1459 m dan dengan sudut awal 40 derajat sebesar 32.7065 m. Kecepatan maksimal sebesar 75.4434 m/s, 66.7461 m/s dan 77.882 m/s. Sedangkan besar jarak horizontal yang dihasilkan adalah 335,4018 m, 436.0948 m dan 372.1712 m. Dengan metode Adams Bashforth Moulton diperoleh tinggi maksimum dengan sudut awal sebesar 80 derajat dan gaya dorong 3450 N adalah 298.4252 m, dengan sudut awal 70 derajat sebesar 182,7336 m dan dengan sudut awal 40 derajat tingginya 33.3135 m. Kecepatan maksimumnya adalah sebesar 75.9208 m/s, 67.0238 m/s dan 77.8962 m/s dan jarak tempuhnya adalah sebesar 352.8976 m, 444.7341 m dan 374.9454 m.
2. Dari hasil perhitungan kedua metode diketahui bahwa pada sudut 80 derajat dan gaya dorong 4500 N, serta selang interval  $h = 0.3$  besar kecepatan maksimum, tinggi maksimum dan jarak horizontal roket dengan metode Runge Kutta hampir sama dengan metode Adams Bashforth Moulton di mana bedanya kurang dari 0.5 %. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk menjalankan program pada metode Runge Kutta lebih cepat daripada dengan metode Adams Bashforth Moulton.

### 4.2 Saran

Pada penulisan ini perhitungannya menggunakan gaya dorong dan koefisien gaya hambat (Cd) yang dianggap konstan, sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan gaya dorong dan koefisien gaya hambat yang tidak konstan. Perhitungan bisa dikembangkan untuk menghitung roket tingkat dua.

**PERBANDINGAN HASIL PENYELESAIAN PERSAMAAN GERAK ROKET DENGAN  
METODE NUMERIK (METODE RUNGE KUTTA DAN METODE ADAMS  
BASHFORTH MOULTON)**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh :  
MUTAMAR INDAH  
0210940029-94**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2007**



**DAFTAR ISI**

Halaman

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>KATA PENGANTAR</b>	vi
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1 Roket.....	3
2.1.1 Asas Gerak Roket.....	3
2.1.2 Percepatan Gravitasi.....	4
2.1.3 Rapat Masa Udara.....	5
2.1.4 Persamaan Gerak Roket.....	5
2.1.5 Kondisi Awal dan Batas.....	6
2.2 Persamaan Diferensial.....	7
2.3 Sistem Persamaan Diferensial.....	8
2.4 Teorema Taylor.....	9
2.5 Metode Numerik.....	9
2.5.1 Metode Runge-Kutta.....	9
2.5.2 Metode Adams Bashforth Moulton.....	13
2.6 Analisa Kesalahan .....	15
2.6.1 Kesalahan Pemotongan pada Runge-Kutta.....	15
2.6.2 Analisa Kesalahan pada Metode Adams Bashforth Moulton	17
<b>BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
3.1 Pembentukan Sistem Persamaan Gerak Roket.....	19
3.2 Hasil.....	22
3.3 Pembahasan.....	32
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
4.1 kesimpulan.....	37
4.2 Saran.....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Gaya yang bekerja pada roket.....	3
Gambar 3.1	Komponen gaya pada peluncuran roket	19
Gambar 3.2	Grafik tinggi terhadap waktu yang dihitung dengan sudut awal 80 derajat dan gaya dorong 3450 N dengan metode Runge Kutta dan Adams Bashforth Moulton.	28
Gambar 3.3	Grafik jarak terhadap waktu yang dihitung dengan sudut awal 80 derajat dan gaya dorong 3450 N	29
Gambar 3.4	Grafik kecepatan terhadap waktu yang dihitung dengan sudut awal 80 derajat dan gaya dorong 3450 N	29
Gambar 3.5	Grafik tinggi terhadap waktu yang dihitung dengan metode Runge Kutta pada sudut awal 80, 70 dan 40 derajat	33
Gambar 3.6	Grafik jarak terhadap waktu yang dihitung dengan metode Runge Kutta	34
Gambar 3.7	Grafik kecepatan terhadap waktu yang dihitung dengan menggunakan metode Runge-Kutta	34
Gambar 3.8	Grafik tinggi terhadap waktu yang dihitung dengan metode Runge-Kutta pada sudut awal 80 derajat dan besar gaya dorong yang berbeda-beda	35
Gambar 3.9	Grafik jarak horizontal terhadap waktu yang dihitung dengan metode Runge-Kutta pada sudut awal 80 derajat	35
Gambar 3.10	Grafik kecepatan terhadap waktu yang dihitung dengan metode Runge-Kutta pada besar sudut awal 80 derajat	36

**DAFTAR TABEL**

Halaman

Tabel 3.1	Data struktur roket	22
Tabel 3.2	Perhitungan dengan besar sudut awal 80 derajat dan gaya dorong 3450 N pada $h = 0.409$ .....	27
Tabel 3.3	Perhitungan dengan sudut awal sebesar 70 derajat dan gaya dorong 3450 N pada $h = 0.321$	30
Tabel 3.4	Perhitungan dengan sudut awal 40 derajat dan gaya dorong 3450 N pada $h = 0.368$	30
Tabel 3.5	Perhitungan dengan besar gaya dorong 4500 N dan sudut awal 80 derajat pada interval $h = 0.3$	31
Tabel 3.6	Perhitungan dengan besar gaya dorong 10000 N dan sudut awal 80 derajat pada interval $h = 0.2075$	31

**DAFTAR LAMPIRAN**

Halaman

Lampiran 1.	Fungsi-fungsi yang digunakan dalam program	41
Lampiran 2.	Program metode Runge-Kutta orde empat	42
Lampiran 3.	Program metode Adams Bashforth Moulton orde empat.....	46



## DAFTAR PUSTAKA

- Budhi, W.S.. 2001. *Kalkulus Peubah banyak dan Penggunaannya*. ITB. Bandung.
- Boyce, W.E. dan DiPrima, R.C.. 1992. *Elementary Differential Equation and Boundary Value Problems. Fifth Edition*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Finisio, N. dan Ladas, G.. 1988. *Persamaan Diferensial Biasa dengan Penerapannya. Edisi Kedua*. Erlangga. Jakarta.
- Ginting, R. W. dan Endang, S.. 2000. *Penelitian Koefisien Aerodinamik Roket Kendali RKX-180 mm*. Majalah LAPAN.vol 2.No 1.
- Munif , A. dan Prasetyoko, A.. 1995. *Cara Praktis Penguasaan Dan Penggunaan Metode Numerik. Edisi Kedua*. Gunawidya. Surabaya.
- Randy,C.. 2005. *Rocket Equation*. [http://my.execpc.com/%7Eculp/rockets/rckt\\_sim.html](http://my.execpc.com/%7Eculp/rockets/rckt_sim.html). Tanggal akses 29 April 2006.
- Randy, C.. 2005. *Rocket Simulation 2D: Launch Angle*. [http://my.execpc.com/~Culp/rockets/rckt\\_sim2D.html](http://my.execpc.com/~Culp/rockets/rckt_sim2D.html). Tanggal akses 20 Januari 2007.
- Ross, S. L.. 1984. *Differential Equations.Third Edition*. John Wiley and Sons. New York.
- Sembiring, T.. 2000. *Perbandingan Solusi Metode Runge-Kutta Dan Metode Adams Bashfort Moulton Dalam Persamaan Gerak Roket*. Majalah LAPAN. vol 2. No 2.
- Shevell, R. S.. 1989. *Fundamentals of Flight. Second Edition*. Prentice Hall. New Jersey.
- Silaban, P. dan Susilo, N.. 1992. *Analisa Metode Numerik*. Erlangga. Jakarta.
- SouthWorth, R. W. and Samuel, L. D.. 1965. *Digital Computation And Numerical Methods*. McGraw-Hill, Inc. USA.
- Stewart, J.. 2001. *Kalkulus. Edisi Keempat*. Terjemahan I Nyoman Susilo dan Hendra, G.. Erlangga. Jakarta.

PERBANDINGAN HASIL PENYELESAIAN PERSAMAAN GERAK ROKET DENGAN  
METODE NUMERIK (METODE RUNGE KUTTA DAN METODE ADAMS BASHFORTH  
MOULTON)

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang matematika

Oleh :  
MUTAMAR INDAH  
0210940029-94

PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2007

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul '' Perbandingan Hasil Penyelesaian Persamaan Gerak Roket dengan Metode Numerik (Metode Runge Kutta dan Metode Adams Bashforth Moulton)''.

Pada kesempatan ini penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Drs. Hery Subagio, M.Kes selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan selama penulisan tugas akhir.
2. Dra. Trisilowati, M.Sc selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan saran dan bimbingan.
3. Prof. Dr. Agus Widodo, Drs. Abdul Rouf A., M.Sc dan Drs. M. Aruman, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik untuk penyempurnaan tugas akhir.
4. Dr. Agus Suryanto, M.Sc selaku ketua jurusan matematika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
5. Kedua orang tua dan saudara-saudaraku yang telah memberikan doa dan dukungan.
6. Teman-teman matematika '02 dan semua anak Brawijaya yang kenal ma aku..
7. Teman-teman di KA 126.
8. Seluruh staf dan karyawan jurusan matematika dan semua pihak yang telah membantu.

Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir yang masih jauh dari sempurna ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Penulis



## LAMPIRAN

**Lampiran 1. Fungsi-fungsi yang digunakan dalam program.**

**function** ydot=fnc1(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = \left( \frac{3450}{100-20*t} \right) (9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \sin(\text{sdt}) * (t - (t^3) * 0.000097508 * (2.71828^{(-h/7256.09)})) / (100-20*t)) * \cos(\text{sdt});$$

**function** ydot=fnc2(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = \left( \frac{3450}{100-20*t} \right) - (9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \sin(\text{sdt}) * (t - (t^3) * 0.000097508 * (2.71828^{(-h/7256.09)})) / (100-20*t)) * \sin(\text{sdt});$$

**function** ydot=fnc3(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = \left( \frac{3450 - (0.0000292526) * (2.71828^{(-h/7256.09)})}{(6.37*(10^6)+h)^2} \right) * \left( \frac{3450}{100-20*t} \right) - (9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \sin(\text{sdt})^2 * (t - (t^3) * 0.000097508 * (2.71828^{(-h/7256.09)})) / (100-20*t)) / (100-20*t)) - (9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \sin(\text{sdt});$$

**function** ydot=fnc4(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = (-9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \cos(\text{sdt}) / \left( \frac{3450}{100-20*t} \right) - (9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \sin(\text{sdt}) * (t - (t^3) * 0.000097508 * (2.71828^{(-h/7256.09)})) / (100-20*t));$$

**function** ydot=fnc5(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = v * \cos(\text{sdt});$$

**function** ydot=fnc6(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = v * \sin(\text{sdt});$$

**function** ydot=fnc7(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = (-0.000005224 * (2.71828^{(-h/7256.09)}) * v^2) - (9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \sin(\text{sdt});$$

**function** ydot=fnc8(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = (-9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2 * \cos(\text{sdt}) / v;$$

**function** ydot=fnc9(t,x,h,v,sdt)

$$\text{ydot} = \left( \frac{3450}{100-20*t} \right) - \left( \frac{0.0000292526 * (2.71828^{(-h/7256.09)}) * v^2}{(100-20*t) - (9.81) * \left( \frac{6.37*(10^6)}{6.37*(10^6)+h} \right)^2} \right) * \sin(\text{sdt});$$
**Lampiran 2. Program metode Runge-Kutta orde empat.**

**function** [t,x,h,v,sdt]=rktt(a,b,x,h,v,sdt,n)

tic

z=(b-a)/n;

t(1)=a;

x(1)=x;

h(1)=h;

v(1)=v;



```

sdt(1)=sdt;
for i=2
    t(i)=a+z*(i-1);
    k1=z*fgs1(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
    l1=z*fgs2(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
    p1=z*fgs3(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
    r1=z*fgs4(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
    k2=z*fgs1(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    l2=z*fgs2(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    p2=z*fgs3(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    r2=z*fgs4(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    k3=z*fgs1(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
    l3=z*fgs2(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
    p3=z*fgs3(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
    r3=z*fgs4(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
    k4=z*fgs1(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
    l4=z*fgs2(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
    p4=z*fgs3(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
    r4=z*fgs4(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
    k=(k1+2*k2+2*k3+k4)/6;
    l=(l1+2*l2+2*l3+l4)/6;
    p=(p1+2*p2+2*p3+p4)/6;
    r=(r1+2*r2+2*r3+r4)/6;
    x(i)=x(i-1)+k;
    h(i)=h(i-1)+l;
    v(i)=v(i-1)+p;
    sdt(i)=sdt(i-1)+r;
    t(i)=[t(i)];
    x(i)=[x(i)];
    h(i)=[h(i)];
    v(i)=[v(i)];
    sdt(i)=[sdt(i)];
end
for i=3:n+1
    t(i)=a+z*(i-1);
    if t(i)<=2.1999
        k1=z*fgs5(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        l1=z*fgs6(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        p1=z*fgs9(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        r1=z*fgs8(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        k2=z*fgs5(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        l2=z*fgs6(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        p2=z*fgs9(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        r2=z*fgs8(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        k3=z*fgs5(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        l3=z*fgs6(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        p3=z*fgs9(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        r3=z*fgs8(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        k4=z*fgs5(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
        l4=z*fgs6(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
        p4=z*fgs9(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
        r4=z*fgs8(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
    end
end

```



```

k=(k1+2*k2+2*k3+k4)/6;
l=(l1+2*l2+2*l3+l4)/6;
p=(p1+2*p2+2*p3+p4)/6;
r=(r1+2*r2+2*r3+r4)/6;
x(i)=x(i-1)+k;
h(i)=h(i-1)+l;
v(i)=v(i-1)+p;
sdt(i)=sdt(i-1)+r;
t(i)=[t(i)];
x(i)=[x(i)];
h(i)=[h(i)];
v(i)=[v(i)];
sdt(i)=[sdt(i)];

```

```

else

```

```

t(i)=a+z*(i-1);
k1=z*fgs5(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
l1=z*fgs6(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
p1=z*fgs7(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
r1=z*fgs8(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
k2=z*fgs5(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
l2=z*fgs6(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
p2=z*fgs7(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
r2=z*fgs8(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
k3=z*fgs5(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
l3=z*fgs6(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
p3=z*fgs7(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
r3=z*fgs8(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
k4=z*fgs5(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
l4=z*fgs6(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
p4=z*fgs7(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
r4=z*fgs8(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
k=(k1+2*k2+2*k3+k4)/6;
l=(l1+2*l2+2*l3+l4)/6;
p=(p1+2*p2+2*p3+p4)/6;
r=(r1+2*r2+2*r3+r4)/6;
x(i)=x(i-1)+k;
h(i)=h(i-1)+l;
v(i)=v(i-1)+p;
sdt(i)=sdt(i-1)+r;
if h(i)<=0
v(i)=0
if v(i)==0 break
t(i)=[t(i)];
x(i)=[x(i)];
h(i)=[h(i)];
v(i)=[v(i)];
sdt(i)=[sdt(i)];
end
end
end
end
waktu=toc

```

```
fprintf('\n T(i) X(i) H(i) V(i) SDT(i) \n');
fprintf('.....\n');    fprintf('%4.1f%8.2f%10.2f%
12.2f%15.2f\n',[t';x';h';v';sdt'])
```

### Lampiran 3. Program metode Adams Bashforth Moulton orde empat.

```
function[t,x,h,v,sdt]=abm(a,b,x,h,v,sdt,n)
    tic
    z=(b-a)/n;
    t(1)=a;
    x(1)=x;
    h(1)=h;
    v(1)=v;
    sdt(1)=sdt;
    for i=2
        t(i)=a+z*(i-1);
        k1=z*fgs1(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        l1=z*fgs2(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        p1=z*fgs3(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        r1=z*fgs4(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
        k2=z*fgs1(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        l2=z*fgs2(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        p2=z*fgs3(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        r2=z*fgs4(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
        k3=z*fgs1(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        l3=z*fgs2(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        p3=z*fgs3(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        r3=z*fgs4(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
        k4=z*fgs1(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
        l4=z*fgs2(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
        p4=z*fgs3(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
        r4=z*fgs4(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
        k=(k1+2*k2+2*k3+k4)/6;
        l=(l1+2*l2+2*l3+l4)/6;
        p=(p1+2*p2+2*p3+p4)/6;
        r=(r1+2*r2+2*r3+r4)/6;
        x(i)=x(i-1)+k;
        h(i)=h(i-1)+l;
        v(i)=v(i-1)+p;
        sdt(i)=sdt(i-1)+r;
        t(i)=[t(i)];
        x(i)=[x(i)];
        h(i)=[h(i)];
        v(i)=[v(i)];
        sdt(i)=[sdt(i)];
    end
    for i=3:4
        t(i)=a+z*(i-1);
        k1=z*fgs5(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
```

```

l1=z*fgs6(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
p1=z*fgs9(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
r1=z*fgs8(t(i-1),x(i-1),h(i-1),v(i-1),sdt(i-1));
    k2=z*fgs5(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    l2=z*fgs6(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    p2=z*fgs9(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    r2=z*fgs8(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k1/2,h(i-1)+l1/2,v(i-1)+p1/2,sdt(i-1)+r1/2);
    k3=z*fgs5(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
    l3=z*fgs6(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
    p3=z*fgs9(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
    r3=z*fgs8(t(i-1)+z/2,x(i-1)+k2/2,h(i-1)+l2/2,v(i-1)+p2/2,sdt(i-1)+r2/2);
k4=z*fgs5(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
l4=z*fgs6(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
p4=z*fgs9(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
r4=z*fgs8(t(i-1)+z,x(i-1)+k3,h(i-1)+l3,v(i-1)+p3,sdt(i-1)+r3);
    k=(k1+2*k2+2*k3+k4)/6;
    l=(l1+2*l2+2*l3+l4)/6;
    p=(p1+2*p2+2*p3+p4)/6;
    r=(r1+2*r2+2*r3+r4)/6;
    x(i)=x(i-1)+k;
    h(i)=h(i-1)+l;
    v(i)=v(i-1)+p;
    sdt(i)=sdt(i-1)+r;
end
for j=5
    t(j)=a+(j-1)*z;
    a1(j)=(55*fgs1(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs1(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
        *fgs1(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs1(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
    x1(j)=x(j-1)+z*a1(j);
    a2(j)=(55*fgs2(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs2(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
        *fgs2(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs2(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
    h1(j)=h(j-1)+z*a2(j);
    a3(j)=(55*fgs3(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs3(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
        *fgs3(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs3(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
    v1(j)=v(j-1)+z*a3(j);
    a4(j)=(55*fgs4(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs4(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
        *fgs4(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs4(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
    sdt1(j)=sdt(j-1)+z*a4(j);
    c1(j)=(fgs1(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs1(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs1
        (t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs1(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
    x(j)=x(j-1)+z*c1(j);
    c2(j)=(fgs2(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs2(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs2
        (t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs2(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
    h(j)=h(j-1)+z*c2(j);
    c3(j)=(fgs3(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs3(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs3
        (t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs3(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
    v(j)=v(j-1)+z*c3(j);
    c4(j)=(fgs4(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs4(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs4
        (t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs4(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
    sdt(j)=sdt(j-1)+z*c4(j);
    t(j)=[t(j)];
    x(j)=[x(j)];

```

```

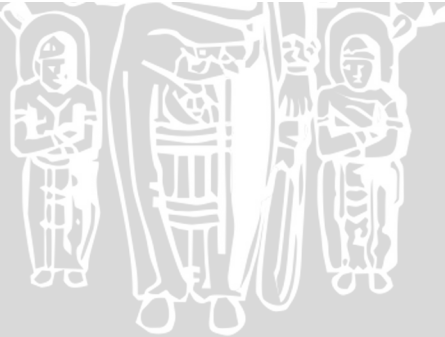
h(j)=[h(j)];
v(j)=[v(j)];
sdt(j)=[sdt(j)];
for j=6:n+1
    t(j)=a+(j-1)*z;
    if t(j)<=2.1999
a1(j)=(55*fgs5(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs5(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs5(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs5(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
x1(j)=x(j-1)+z*a1(j);
a2(j)=(55*fgs6(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs6(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs6(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs6(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
h1(j)=h(j-1)+z*a2(j);
a3(j)=(55*fgs9(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs9(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs9(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs9(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
v1(j)=v(j-1)+z*a3(j);
a4(j)=(55*fgs8(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs8(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs8(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs8(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
sdt1(j)=sdt(j-1)+z*a4(j);
c1(j)=(fgs5(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs5(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs5(t
(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs5(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
x(j)=x(j-1)+z*c1(j);
c2(j)=(fgs6(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs6(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs6(t
(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs6(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
h(j)=h(j-1)+z*c2(j);
c3(j)=(fgs9(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs9(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs9(t
(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs9(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
v(j)=v(j-1)+z*c3(j);
c4(j)=(fgs8(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs8(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+
19*fgs8(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs8(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
sdt(j)=sdt(j-1)+z*c4(j);
t(j)=[t(j)];
x(j)=[x(j)];
h(j)=[h(j)];
v(j)=[v(j)];
sdt(j)=[sdt(j)];
else
    t(j)=a+(j-1)*z;
a1(j)=(55*fgs5(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs5(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs5(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs5(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
x1(j)=x(j-1)+z*a1(j);
a2(j)=(55*fgs6(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs6(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs6(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs6(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
h1(j)=h(j-1)+z*a2(j);
a3(j)=(55*fgs7(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs7(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs7(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs7(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
v1(j)=v(j-1)+z*a3(j);
a4(j)=(55*fgs8(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))-59*fgs8(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+37
*fgs8(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-9*fgs8(t(j-4),x(j-4),h(j-4),v(j-4),sdt(j-4)))/24;
sdt1(j)=sdt(j-1)+z*a4(j);
c1(j)=(fgs5(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs5(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19
*fgs5(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs5(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
x(j)=x(j-1)+z*c1(j);

```

```

c2(j)=(fgs6(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs6(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19
    *fgs6(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs6(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
h(j)=h(j-1)+z*c2(j);
c3(j)=(fgs7(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs7(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19
    *fgs7(t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs7(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
v(j)=v(j-1)+z*c3(j);
c4(j)=(fgs8(t(j-3),x(j-3),h(j-3),v(j-3),sdt(j-3))-5*fgs8(t(j-2),x(j-2),h(j-2),v(j-2),sdt(j-2))+19*fgs8
    (t(j-1),x(j-1),h(j-1),v(j-1),sdt(j-1))+9*fgs8(t(j),x1(j),h1(j),v1(j),sdt1(j)))/24;
    sdt(j)=sdt(j-1)+z*c4(j);
    if h(j)<=0
        v(j)=0
        if v(j)==0 break
    t(j)=[t(j)];
    x(j)=[x(j)];
    h(j)=[h(j)];
    v(j)=[v(j)];
    sdt(j)=[sdt(j)];
    end
    end
    end
    end
    waktu=toc
    fprintf('\n T(i) X(i) H(i) V(i) SDT(i) \n');
    fprintf('.....\n');          fprintf('%4.1f%8.2f%10.2f%12.2f%15.2f\n',
    [t';x';h';v';sdt'])

```



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN HASIL PENYELESAIAN PERSAMAAN GERAK ROKET DENGAN  
METODE NUMERIK (METODE RUNGE KUTTA DAN METODE ADAMS BASHFORTH  
MOULTON)

Oleh :  
MUTAMAR INDAH  
0210940029-94

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal 23 April 2007  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang matematika

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Hery Subagio, M.Kes  
NIP. 131 281 896

Dra. Trisilowati, M.Sc  
NIP. 131 837 955

Mengetahui,  
Ketua Jurusan matematika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Agus Suryanto, M.Sc  
NIP. 132 126 049

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mutamar Indah  
NIM : 0210940029-94  
Jurusan : Matematika  
Penulis Tugas Akhir berjudul : Perbandingan Hasil Penyelesaian Persamaan Gerak Raket dengan Metode Numerik (Metode Runge Kutta dan Metode Adams Bashforth Moulton).

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari tugas akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam tugas akhir ini.
  2. Apabila dikemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.
- Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 30 Maret 2007  
Yang menyatakan,

(Mutamar Indah)  
NIM. 0210940029

