

PENENTUAN GAYA HAMBAT UDARA PADA PELUNCURAN ROKET DENGAN SUDUT ELEVASI 65°

Turah Sembiring

Peneliti Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN
e-mail: kurnia@yahoo.com

ABSTRACT

The parametrics that be used to determine the performance of a rocket flying through the air among others is the distance range, altitude and the maximum speed by the rocket. The maximum distance range reached by RX 320 rocket at angle of elevation 65° is 45,223 Km, while the heigh and the maximum speed reached by the rocket at this elevation respectively is 17,749 Km and 2,492 Mach. In this paper will show how much influenced the speed of the rocket on rocket drag. With 65° angle of elevation, the maximum air drag force experienced by the rocket is equal to 1705,634 N and maximum rocket speed is 2,492 Mach as well as the minimum air drag force experienced by the rocket is 58,821 N and the minimum rocket speed is 1,102 Mach.

Key Words: *Drag, Numerical, Newton*

ABSTRAK

Parameter yang dipakai untuk mengetahui kinerja suatu roket yang sedang terbang di udara adalah jarak jangkauan, ketinggian dan kecepatan maksimum yang dicapai oleh roket tersebut. Jarak jangkauan maksimum, ketinggian, dan kecepatan maksimum yang dicapai oleh Roket RX 320 pada sudut elevasi 65° besarnya berturut-turut adalah 45,223 Km, 17,749 Km, 2,492 Mach. Dalam tulisan ini, akan ditunjukkan pengaruh kecepatan roket terhadap gaya hambat roket. Dengan sudut elevasi 65° gaya hambat udara maksimum yang dialami roket tersebut sebesar 1705,632 N dan kecepatan maksimum 2,492 Mach, serta gaya hambat minimum yang dialami roket sebesar 58,821 N dan kecepatan minimum roket 1,102 Mach.

Kata kunci: *Gaya hambat, Numerik, Newton*

1 PENDAHULUAN

Roket RX-320 yang diuji terbang oleh LAPAN pada bulan Juli 2008 adalah merupakan roket yang terbesar yang pernah dibuat oleh LAPAN. Roket ini dirancang oleh para peneliti LAPAN bertujuan untuk mengetahui prestasi terbang roket dan dalam tulisan ini penulis secara khusus membicarakan masalah besarnya gaya hambat udara yang didapat oleh roket dengan sudut elevasi yang tertentu.

Dalam uji statik yang dilakukan diketahui bahwa roket ini berbobot 598 Kg, berat propelan 254 Kg, gaya dorong 3500 Kgf, berat beban guna 60 Kg dan waktu pembakaran 13 detik. Dalam pener-

bangun roket RX 320 dengan sudut elevasi 50° sampai dengan 80° telah diketahui bahwa jarak *jangkauan maksimum* terbesar adalah pada sudut elevasi 65° sebesar 45,223 Km. Pada sudut elevasi lainnya, jarak jangkauan yang diperoleh adalah lebih kecil dari 45,223 Km. Besarnya ketinggian dan kecepatan maksimum pada sudut elevasi ini adalah 17.749 Km dan 2,492 Mach. Berdasarkan sudut elevasi 65° penulis akan mencoba menentukan gaya hambat udara roket. Dengan jarak jangkauan 45,223 Km, ketinggian 17,749 Km dan kecepatan 2,492 Mach akan ditentukan gaya hambat udara roket. Dalam tulisan ini akan ditunjukkan pengaruh kecepatan roket terhadap gaya hambat udara roket.

Pada saat ini diasumsi propelan roket terbakar secara merata sehingga berat roket berkurang secara linear sampai bahan bakar habis terbakar dan setelah bahan bakar habis terbakar besarnya berat roket konstan sampai akhirnya roket jatuh ke tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur secara simulasi gaya hambat udara pada suatu ketinggian pada saat terbang.

Dengan mengetahui gaya hambat ini diharapkan apakah gaya hambat masih dalam tingkat toleransi atau melebihi. Jika melebihi diharapkan bisa dikurangi dengan suatu rekomendasi lebih lanjut.

2 Persamaan Gerak Roket

Adapun tipe roket yang dipakai dalam perhitungan ini adalah tipe roket balistik sehingga prestasi terbang roket yang dihadapi adalah prestasi terbang roket balistik. Gerakan roket yang diluncurkan diasumsi sebagai gerakan roket dalam lintasan dua dimensi sehingga arah lintasan roket dan sumbu roket berhimpit. Berdasarkan asumsi ini persamaan gerak roket dapat dituliskan dalam sistem persamaan diferensial biasa (bukan linear) orde pertama. Variabel x sebagai jarak jangkauan roket, h sebagai tinggi roket, V sebagai kecepatan roket, γ sebagai sudut lintas terbang roket dan m sebagai massa roket. Persamaan gerakan roket disajikan sebagai berikut.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= V \cos \gamma \\ \frac{dh}{dt} &= V \sin \gamma \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{T - D}{m} - g \sin \gamma \\ \frac{d\gamma}{dt} &= -\frac{g \cos \gamma}{V} \\ \frac{dm}{dt} &= -\dot{m} \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

Formula gaya hambat udara disajikan sebagai berikut:

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D \quad (2-2)$$

keterangan:

C_D = koefisien gaya hambat udara
 S = luas penampang roket
 ρ = rapat massa udara

Koefisien gaya hambat udara dihitung dengan formula sebagai berikut.

$$C_D = 0,4 + 0,5 \cdot M^6 \quad \text{untuk } M < 1 \quad (2-3)$$

$$C_D = 0,16 + 0,74/M^2 \quad \text{untuk } M > 1 \quad (2-4)$$

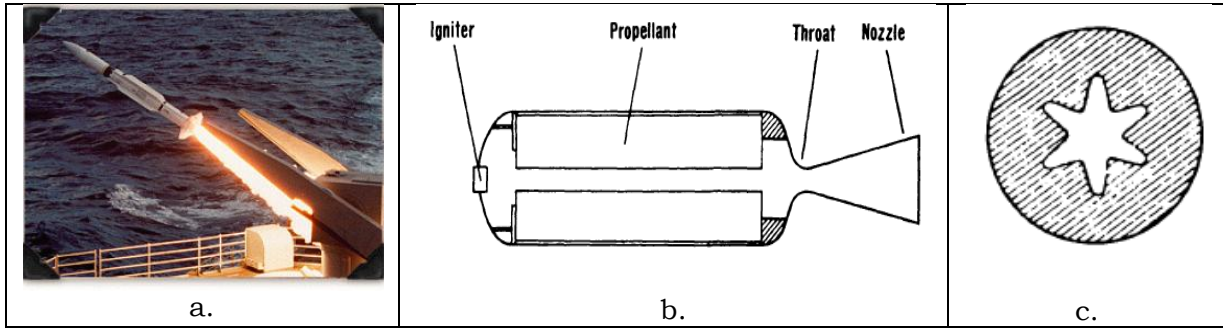
Formula rapat massa udara adalah:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{-h}{\lambda_1}\right) \quad (2-5)$$

keterangan:

ρ_0 = rapat massa udara muka laut = 0,1225 Kg/m³
 λ_1 = konstanta akibat rapat massa udara = 7256,09 m

Sebagai gambaran tentang roket, maka di bawah ini disajikan gambar roket. Gambar 1.1a merupakan gambar roket senjata yang menggunakan bahan bakar propelan komposit sebagaimana bahan bakar ini digunakan pada roket balistik 320 yang dikembangkan LAPAN. Gambar 2-1b merupakan bagian motor roket yang terdiri dari penyala (*igniter*), propelan, nosel yang memiliki leher (*throat*) untuk menghasilkan gaya dorong. Sementara Gambar 2-1c merupakan grain propelan dengan lubang berbentuk bintang.



Gambar 2-1:Roket beserta komponennya

3 DATA DAN METODE

3.1 Data

Sebagai perhitungan gaya hambat udara diambil dari data roket LAPAN RX-320. Data roket tersebut adalah:

Panjang total roket	: 4,755 m
Berat total roket	: 598 Kg
Berat propelan roket	: 254 Kg
Diameter roket	: 320 mm
Gaya dorong roket	: 3500 Kgf
Waktu pembakaran roket	: 13,1 detik
Sudut elevasi	: 65°

3.2 Metode

Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah simulasi komputer dengan mengambil data dari uji terbang roket RX 320 yang dilakukan di Stasiun Uji Terbang Pameungpeuk. Data yang digunakan untuk simulasi meliputi waktu bakar propelan sampai habis, ketinggian roket, dan kecepatan roket.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Dengan adanya data roket ini, penentuan gaya hambat udara dapat dilakukan. Gaya hambat udara maksimum diperoleh setelah bahan bakar habis terbakar dan gaya hambat udara minimum diperoleh pada saat dicapai ketinggian maksimum. Selama waktu pembakaran propelan gaya dorong roket diasumsi konstan yaitu 3500 Kgf dan berat roket selama waktu pembakaran propelan

adalah bervariasi linear. Setelah pembakaran propelan berakhir gaya dorong roket adalah 0 Kgf, dan berat roket adalah 344 Kg. Sudut lintas terbang roket adalah mengarah positif ketika roket sampai ketinggian maksimum. Setelah saat ini sudut lintas terbang mengarah negatif hingga roket jatuh ke tanah. Data hasil uji terbang roket RX 320 dinyatakan pada Tabel 4-1.

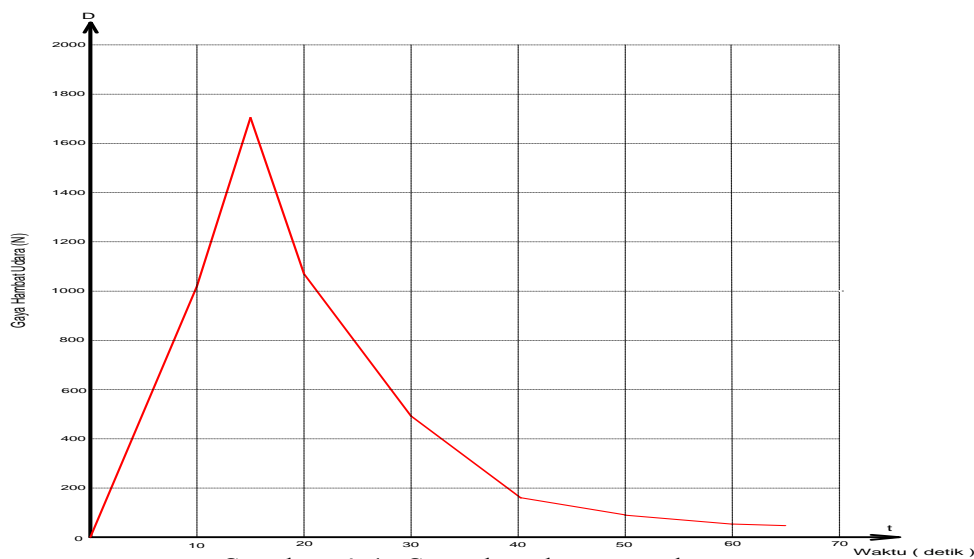
Sistem persamaan (2-1) dapat diselesaikan dengan berbagai metode numerik. Solusi persamaan gerak roket dengan metode numerik dapat dilakukan dengan menghitung, ketinggian, kecepatan dan waktu terbang roket. Besarnya gaya hambat udara roket dapat ditentukan dengan persamaan (2-2).

Pada perhitungan prestasi terbang roket RX-320 dengan sudut elevasi 65° diperoleh besarnya ketinggian maksimum adalah 17,749 Km, kecepatan adalah 2,492 Mach dan waktu terbang roket 130 detik. Pada sudut elevasi ini gaya hambat udara maksimum roket adalah 1705,634 Newton dan gaya hambat ini sampai ketinggian maksimum adalah 58,821 Newton. Ketinggian roket sampai bahan bakar roket habis terbakar adalah 4,424 Km dan hasil perhitungan ketinggian, kecepatan, berat roket, waktu terbang roket dan gaya hambat udara roket dengan sudut elevasi 65° dapat dilihat pada Tabel 4-2.

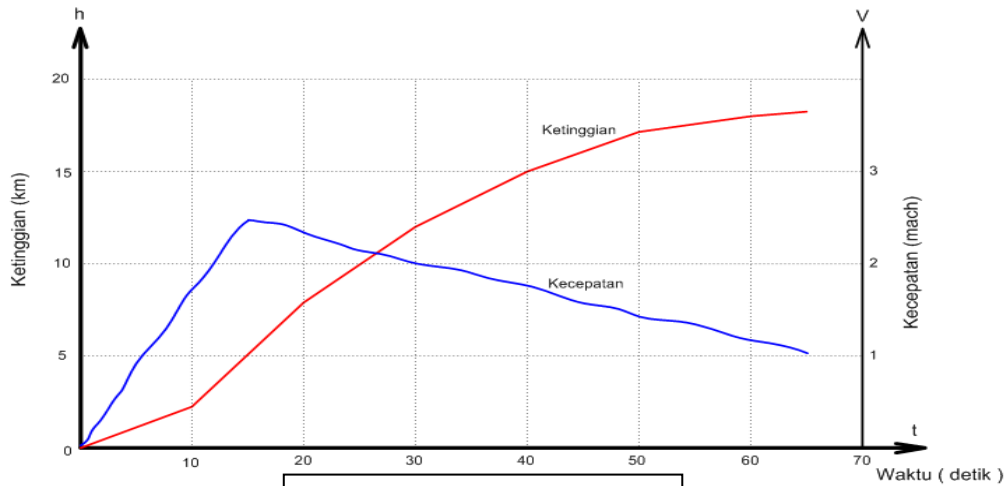
Tabel 4-1: HUBUNGAN ANTARA WAKTU, KETINGGIAN, KECEPATAN DAN GAYA HAMBAT UDARA DARI ROKET RX-320 PADA SUDUT ELEVASI 65°

Waktu (detik)	Ketinggian (Km)	Kecepatan (Mach)	Gaya Hambat Udara (N)
0	0,000	0,000	0,000
1	0,022	0,143	13,013
2	0,088	0,291	70,708
3	0,196	0,447	110,233
4	0,349	0,609	241,524
5	0,547	0,780	312,625
6	0,791	0,958	457,247
7	1,082	1,145	525,223
8	1,420	1,323	648,988
9	1,804	1,505	826,150
10	2,233	1,692	1013,022
11	2,709	1,883	1204,233
12	3,232	2,079	1386,707
13	3,803	2,282	1552,778
14	4,424	2,492	1705,634
15	5,055	2,401	1601,566
16	6,659	2,321	1582,268
18	6,796	2,177	1357,092
20	7,848	2,059	1028,518
25	10,165	1,809	792,532
30	12,097	1,630	445,919
35	13,709	1,489	576,903
40	15,032	1,374	184,041
45	16,084	1,281	130,056
50	16,877	1,207	97,336
55	17,415	1,152	77,228
60	17,705	1,117	65,197
65	17,749	1,102	58,821

Dari data itu bisa disajikan grafik kecepatan vs waktu, ketinggian vs waktu dan gaya hambat vs waktu di bawah ini.



Gambar 4-1: Gaya hambat vs waktu



Gambar 4-2: Ketinggian vs waktu dan kecepatan vs waktu

Tabel 4-2: HASIL PERHITUNGAN PRESTASI ROKET RX-320

No.	Hasil Perhitungan Prestasi Terbang Raket RX-320	Sudut Elevasi 65°
1.	Kecepatan Maksimum (Mach)	2,492
2.	Tinggi Maksimum (Km)	17,749
3.	Ketinggian sampai bahan bakar habis (Km)	4,024
4.	Waktu Terbang Maksimum (detik)	130
5.	Berat Raket Setelah Propelan Terbakar (Kg)	344
6.	Gaya Hambat Sampai Tinggi Maksimum (N)	58,821
7.	Gaya Hambat Maksimum (N)	1705,634

4.2 Pembahasan

Tabel 4-1 adalah tabel hubungan antara waktu terbang, ketinggian, kecepatan dan gaya hambat udara roket pada sudut elevasi 65°. Besar gaya hambat udara dan kecepatan roket makin besar dari saat mulai terbang sampai bahan bakar propelan habis terbakar. Setelah propelan habis terbakar besar gaya hambat udara dan besar kecepatan roket makin kecil hingga mencapai ketinggian maksimum. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4-1. Besar gaya hambat udara maksimum adalah 1705,634 N dan kecepatan maksimum adalah 2,492 Mach pada saat propelan habis terbakar serta besar gaya hambat udara minimum adalah 58,821 N dan kecepatan minimum adalah 1,102 Mach pada saat mencapai ketinggian maksimum.

Hal ini dapat dilihat dalam Tabel 4-1. Besarnya gaya hambat udara dan kecepatan maksimum adalah sejalan artinya makin besar gaya hambat udara makin besar pula kecepatan udara. Sebaliknya kecil gaya hambat udara makin kecil pula kecepatan udara. Hal ini dapat dilihat berdasarkan persamaan 2-2.

Gaya hambat udara dan kecepatan udara akan naik dari detik ke-0 hingga detik ke-13,1, dan menurun dari detik ke-14 hingga ke-65. Sedangkan ketinggian akan meningkat terus dari detik ke-0 hingga detik ke-65. Pengaruh kecepatan udara terhadap gaya hambat udara adalah bila kecepatan udara meningkat maka gaya hambat akan meningkat pula. Bila kecepatan udara menurun maka gaya hambat udara akan menurun pula. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4-1 dan Gambar 4-2. Gambar 4-1 dan

Gambar 4-2 masing-masing adalah gambar grafik gaya hambat udara serta gambar grafik ketinggian dan grafik kecepatan vs waktu terbang roket.

5 KESIMPULAN

Penelitian ini memfokuskan pada penentuan perhitungan kecepatan terbang roket dan gaya hambat udara pada sudut elevasi 65° . Dari hasil perhitungan dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Besarnya kecepatan udara maksimum roket adalah 2,492 Mach dan diikuti oleh besarnya gaya hambat udara adalah 1705,634 N pada ketinggian 4,424 Km. Hal ini dicapai pada saat bahan bakar habis terbakar.
- b. Besarnya kecepatan udara minimum roket adalah 1,102 Mach diikuti oleh besarnya gaya hambat udara minimum pada 58,821 N. Hal ini dicapai pada

saat mencapai ketinggian maksimum roket

DAFTAR RUJUKAN

- Anonymous, 1960. *Small Sounding Rocket Symposium*, XI The Internatioanl Astronautical Congres, Stockholm.
- Kreyzgw Erwin, 1988. *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley & Son, New York.
- Said Jenie, 1981. *Mekanika Terbang Roket*, Jakarta.
- Said Jenie, 1989. *Desain Manual Roket*, Jakarta.
- Sembiring T., 2000. *Perbandingan Solusi Metode Rungge Kutta & Metode Adam Bashford Moulton Dalam Persamaan Gerak Roket*, Jakarta.
- Sembiring T., 2008. *Penelitian Prestasi Terbang Roket Sonda Satu Tingkat RX-320*, Jurnal Teknologi Dirgantara, Jakarta.