

PENELITIAN PRESTASI TERBANG ROKET SONDA SATU TINGKAT RX-320

Turah Semblring
Peneliti Pusterapan. LAPAN

ABSTRACT

Research to find the optimum performance of the rocket is done by using one stage of RX-320 rocket with angle of elevation varied from 50 degrees up to 80 degrees. The propellant performance is use of the HTPB based. The static test of rocket is 598 kg with the propellant weight of 254 kg get the thrust of 3500 kgf, the burning time is 13 seconds.

Through the flight test has been found the maximum presentation of rocket with some angle of elevations. The maximum range of distance is reach 45.223 km with angle of elevation 65 degrees, the maximum height is reach 27.595 km with angle of elevation is 80 degrees, the maximum velocity is reach 2.531 mach with angle of elevation 50 degrees and the maximum time of flying is reach 160 seconds with angle of elevation 80 degrees.

Keywords : *Flight presentation. Sounding rocket*

ABSTRAK

Penelitian prestasi terbang roket telah dilakukan terhadap roket RX-320 dengan sudut elevasi bervariasi dari 50° sampai dengan 80°. Bahan pendorong yang dipakai adalah jenis propelan HTPB. Uji statik roket berbobot 598 kg, berat propelan 254 kg menghasilkan gaya dorong 3500 kgf dan waktu pembakaran 13 detik.

Dengan uji penerbangan telah dihitung presentasi terbang roket maksimum untuk berbagai sudut elevasi. Jarak jangkauan maksimum yang dicapai adalah 45,223 km dengan sudut elevasi 65°, tinggi maksimum yang dicapai adalah 27,595 km dengan sudut elevasi 80°, kecepatan maksimum yang dicapai adalah 2,531 mach dengan sudut elevasi 50° dan waktu terbang maksimum yang dicapai adalah 160 detik dengan sudut elevasi 80°.

Kata Kunci: *Prestasi terbang, Roket sonda*

1 PENDAHULUAN

Roket Sonda RX-320 yang diuji terbang oleh LAPAN pada bulan Juli 2008, berbahan bakar HTPB, Alumunium dan Amonium perchlorat dengan konfigurasi ganda, *wagon whell* silinder. Ini merupakan motor roket terbesar yang pernah dibuat oleh LAPAN. Uji performa ini sebagai tahapan membuat roket sonda yang lebih besar. Roket terbesar yang selama ini dimiliki LAPAN berdiameter 250 mm. Tahun 2008 diproyeksikan pengembangan roket RX-320 dan tahun 2009 akan dikembangkan roket yang lebih besar lagi yaitu RX-420 dengan daya jelajah yang

lebih jauh sehingga dengan demikian LAPAN akan menuju rancang bangun roket pengorbit satelit.

Roket RX-320 yang dirancang oleh para peneliti LAPAN untuk menuju pembuatan roket pengorbit satelit. Penelitian yang dilakukan pada roket RX-320 adalah untuk mengetahui prestasi terbang roket dari saat mulai terbang hingga roket mencapai jarak jelajah maksimum dengan sudut elevasi 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, 75°, 80°.

2 DASAR TEORI

Gerakan suatu roket yang diluncurkan bukan untuk persenjataan

dapat diasumsikan sebagai gerakan roket dengan lintasan dua dimensi. Dalam gerakan roket diasumsikan arah lintasan roket dan sumbu roket berhimpit sehingga sudut serang dan gaya angkat adalah nol. Begitu juga sudut Roll diasumsikan nol dan roket dalam stabilitas tak berkendali sehingga gerakan roket menjadi sederhana.

2.1 Persamaan Gerak Roket

Berdasarkan asumsi di atas, gerak roket dapat dituliskan dalam bentuk sistem persamaan diferensial biasa bukan linear orde pertama dengan x sebagai jarak jelajah roket, h sebagai tinggi roket, V sebagai kecepatan roket, γ sebagai sudut lintas terbang roket dan m sebagai massa roket, sebagai berikut :

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

dengan T sebagai gaya dorong roket, D sebagai gaya hambat udara dari roket dan g sebagai gravitasi roket.

Gravitasi dari roket dapat dihitung dengan formula :

$$g = g_0 \frac{R_0^2}{(R_0 + h)^2} \quad (2-2)$$

dimana g_0 adalah gravitasi roket muka laut dan R_0 adalah radius bumi.

Rapat massa udara dihitung dengan formula:

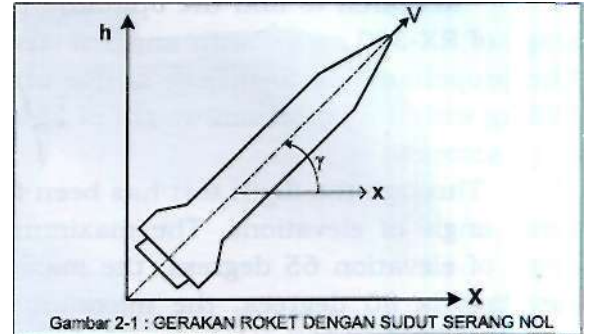
$$\rho = \rho_0 \exp \left(\frac{-h}{\lambda_1} \right) \quad (2-3)$$

dimana ρ_0 adalah rapat massa udara muka laut dan λ_1 adalah konstanta akibat rapat massa udara.

Gaya hambat dari roket dihitung dengan formula :

$$D = -\rho v^2 S C_D \quad (2-4)$$

dimana C_D adalah koefisien gaya hambat udara dan S adalah luas penampang roket



Gambar 2-1: Gerakan roket dengan sudut serang nol

2.2 Kondisi Nilai Batas Roket

Kondisi nilai batas roket yang dimaksud adalah kondisi awal dan kondisi batas roket.

Kondisi awal roket adalah :

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= 0 \\ h_0 &= 0 \\ v_0 &= 0 \\ \gamma_0 &= \theta \text{ launcher} \\ m_0 &= m_c + m_u + m_p \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

dimana x_0 adalah jarak jangkauan, h_0 adalah ketinggian, V_0 adalah kecepatan, γ_0 adalah sudut lintas terbang dan m_0 adalah massa awal roket dimana m_c adalah massa struktur, m_u adalah massa beban guna dan m_p adalah massa propelan roket.

Kondisi batas dari roket adalah kondisi pada saat bahan bakar habis terbakar, yaitu :

$$m_b = m_c + m_u \quad (2-6)$$

Setelah saat ini besarnya gaya dorong roket adalah sama dengan nol, yaitu :

$$T = 0, t \geq t_b \quad (2-7)$$

Dimana t_b adalah saat bahan bakar roket habis terbakar.

2.3 Solusi Persamaan Gerak Roket

Sistem persamaan 2-1 dapat diselesaikan dengan berbagai metode numerik di antaranya metode Runge Kutta. Solusi dengan metode Runge Kutta adalah:

$$\left. \begin{aligned} t_{i+1} &= t_i + z \\ x_{i+1} &= x_i + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \\ h_{i+1} &= h_i + \frac{1}{6} (l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) \\ v_{i+1} &= v_i + \frac{1}{6} (m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4) \\ \gamma_{i+1} &= \gamma_i + \frac{1}{6} (n_1 + 2n_2 + 2n_3 + n_4) \end{aligned} \right\} \quad (2-8)$$

Dimana :

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= z \cdot v_i \cos \gamma_i \\ l_1 &= z \cdot v_i \sin \gamma_i \\ m_1 &= z \left[\frac{T_i - D_i}{m_i} - g_i \sin \gamma_i \right] \\ n_1 &= \frac{z \cdot g_i \cos \gamma_i}{v_i} \end{aligned} \right\} \quad (2-9)$$

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= z [(v_i + 0,5 m_1) \cos (\gamma_i + 0,5 n_1)] \\ l_2 &= z [(v_i + 0,5 m_1) \sin (\gamma_i + 0,5 n_1)] \\ m_2 &= z \left[\frac{T_i - D_i}{m_i} - g_i \sin (\gamma_i + 0,5 n_1) \right] \\ n_2 &= z \left[\frac{g_i \cos (\gamma_i + 0,5 n_1)}{v_i + 0,5 m_1} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2-10)$$

$$\left. \begin{aligned} k_3 &= z [(v_i + 0,5 m_2) \cos (\gamma_i + 0,5 n_2)] \\ l_3 &= z [(v_i + 0,5 m_2) \sin (\gamma_i + 0,5 n_2)] \\ m_3 &= z \left[\frac{T_i - D_i}{m_i} - g_i \sin (\gamma_i + 0,5 n_2) \right] \\ n_3 &= z \left[\frac{g_i \cos (\gamma_i + 0,5 n_2)}{v_i + 0,5 m_2} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2-11)$$

$$\left. \begin{aligned} k_4 &= [(v_i + m_3) \cos (\gamma_i + n_3)] \\ l_4 &= [(v_i + m_3) \sin (\gamma_i + n_3)] \\ m_4 &= z \left[\frac{T_i - D_i}{m_i} - g_i \sin (\gamma_i + n_3) \right] \\ n_4 &= z \left[\frac{g_i \cos (\gamma_i + n_3)}{v_i + m_3} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2-12)$$

Indeks i menyatakan besaran pada waktu ke i dan z adalah pertambahan waktu dari variabel - variabel persamaan gerak roket yaitu jarak jangkauan, ketinggian, kecepatan dan sudut lintas terbang roket untuk setiap saat mulai terbang hingga roket jatuh ke tanah.

Sebagai data perhitungan penelitian prestasi terbang roket diambil data roket LAPAN RX-320 yang baru-baru ini diluncurkan oleh para peneliti LAPAN. Data tersebut adalah:

Panjang total roket	: 4,755 m
Berat total roket	: 598 kg
Berat propelan roket	: 254 kg
Diameter luar roket	: 320 mm
Gaya dorong roket	: 3500 kgf
Waktu pembakaran roket	: 13 detik
Jenis propelan roket	: HTPB
Sudut elevasi	: 50° - 80°

Dengan adanya data roket ini hasil perhitungan prestasi terbang roket dapat dilakukan.

4 HASIL PENELITIAN

Kondisi nilai batas untuk perhitungan adalah persamaan-persamaan (2-5), (2-6) dan (2-7). Penelitian dilakukan dengan sudut elevasi 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, 75° dan 80° yaitu dengan menghitung jarak jangkauan, ketinggian, kecepatan, sudut lintas terbang, berat dan waktu terbang roket.

Berat roket pada saat awal terbang adalah berat total roket yaitu 598 kg, gaya dorong roket adalah 3500 kgf selama 13 detik. Berat roket selama 13 detik adalah bervariasi linear. Setelah itu berat roket adalah konstan yaitu sebesar 344 kg sampai roket jatuh ke tanah.

Tabel 4-1 : HASIL PENELITIAN ROKET SONDA RX-320

HASIL PERHITUNGAN ROKET SONDA RX-320		Sudut Elevasi						
		50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
Jarak Jangkauan Raket Saat Propelan Habis Terbakar	(km)	4,784	4,366	3,886	3,346	2,753	2,111	1,430
Jarak Jangkauan Raket Maksimum	(km)	37,850	41,485	44,573	45,223	43,186	37,403	27,518
Tinggi Raket Saat Propelan Raket Habis Terbakar	(km)	3,099	3,579	4,023	4,424	4,769	5,051	5,259
Tinggi Raket Maksimum	(km)	8,529	11,366	14,596	18,084	21,624	24,916	27,595
Kecepatan Raket Saat Propelan Habis Terbakar	(mach)	2,531	2,518	2,505	2,492	2,480	2,470	2,462
Kecepatan Raket Maksimum	(mach)	2,531	2,518	2,505	2,492	2,480	2,470	2,462
Waktu Terbang Raket Saat Propelan Habis Terbakar	(detik)	14	14	14	14	14	14	14
Waktu Terbang Raket Maksimum	(detik)	92	104	118	130	142	152	160
Sudut Lintas Terbang Raket Saat Propelan Habis Terbakar	Derajat	29,104°	35,782°	42,771°	50,067°	57,650°	65,488°	73,534°
Berat Raket Saat Propelan Habis Terbakar dan Sesudahnya	(kg)	344	344	344	344	344	344	344

Berat propelan roket akan habis dalam 13 detik. Berat propelan berkurang secara linear, setelah 13 detik propelan akan habis terbakar.

Sudut lintas terbang roket adalah dalam arah positif ketika terbang roket dari saat awal terbang hingga terbang roket mencapai tinggi sekitar tinggi maksimum dimana pada saat itu sudut lintas terbang mendekati nol. Setelah saat itu sudut lintas terbang roket akan mengarah negatif hingga roket jatuh ke tanah.

Hasil penelitian yang diperlihatkan adalah jarak jangkauan, ketinggian, kecepatan, sudut lintas terbang, berat dan waktu terbang roket. Hasil penelitian ini diperlihatkan dalam Tabel 4-1.

5 PEMBAHASAN

Jarak, jangkauan maksimum roket bertambah besar ketika sudut elevasi bertambah besar yaitu mulai 50° ke 65° yaitu dari 37,850 km ke 45,223

km dan akan berkurang ketika sudut elevasi dari 65° ke 80° yaitu 45,223 km ke 27,518 km. Jarak jangkauan roket saat propelan habis terbakar makin kecil bila sudut elevasi makin besar. Jarak jangkauan roket saat propelan habis terbakar paling besar adalah 4,784 km pada sudut elevasi 50° dan paling kecil adalah pada sudut elevasi 80° yaitu 1,430 km.

Ketinggian maksimum roket akan makin besar dari 8,529 km pada sudut elevasi 50° ke 27,595 km pada sudut elevasi 80°. Ketinggian roket pada saat propelan habis terbakar makin besar juga dari 3,099 km pada sudut elevasi 50° ke 5,259 km pada sudut elevasi 80°.

Kecepatan maksimum roket maupun kecepatan roket saat propelan habis terbakar adalah makin kecil ketika sudut elevasi makin besar. Kecepatan maksimum maupun kecepatan roket saat propelan habis terbakar paling besar adalah 2,531 mach pada sudut

elevasi 50° hingga 2,462 mach pada sudut elevasi 80° .

Waktu terbang maksimum akan makin besar dari 92 detik pada sudut elevasi 50° hingga 160 detik pada sudut elevasi 80° . Sedangkan waktu terbang roket saat propelan habis terbakar adalah sama untuk semua sudut elevasi yaitu 14 detik.

Sudut lintas terbang pada saat propelan habis terbakar akan makin besar ketika sudut elevasi makin besar mulai dari $29,104^\circ$ pada sudut elevasi 50° hingga sudut $73,534^\circ$ pada sudut elevasi 80° .

Dengan melihat Tabel 4-1 diketahui bahwa jarak jangkauan maksimum roket paling besar adalah 45,223 km pada sudut elevasi 65° sedangkan dengan sudut elevasi yang lain jarak jangkauan roket adalah makin kecil. Ketinggian maksimum roket makin besar bila sudut elevasi makin besar. Kecepatan maksimum roket akan makin kecil bila sudut elevasi makin besar. Waktu terbang maksimum roket akan makin besar bila sudut elevasi makin besar.

Tabel jarak jangkauan, ketinggian dan kecepatan vs waktu dapat dilihat masing-masing pada Tabel 5-1, Tabel 5-2 dan Tabel 5-3. Sedangkan gambar jarak jangkauan, ketinggian dan kecepatan vs waktu dapat dilihat masing - masing pada Gambar 5-1, Gambar 5-2, dan Gambar 5-3,

6 KESIMPULAN

Penelitian untuk mendapatkan prestasi terbang roket satu tingkat RX-320 telah menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Bahwa jarak jangkauan maksimum yang dicapai roket adalah 45,223 km dengan sudut elevasi 65° ,
- Bahwa tinggi maksimum yang dicapai roket adalah 27,595 km dengan sudut elevasi 80° ,
- Bahwa kecepatan roket maksimum yang dicapai roket adalah 2.531 mach dengan sudut elevasi 50° ,
- Waktu terbang maksimum yang dicapai roket adalah 160 detik dengan sudut elevasi 80° .

DAFTAR RUJUKAN

- Anonymous, 1960. *Small Sounding Rocket Symposium*, XI The International Astronautical Congress, Stockholm.
- Said Jenie, 1989. *Desain Manual Roket*, Jakarta.
- Sembiring T et al., 1995. *Preoliksi Penampilan Roket RXX 150 LPN- A-DUI*, Jakarta.
- Sembiring T., 2005. *Menentukan Tinggi Maksimum Roket Balistik Dengan Beban Guna Tertentu yang Terbang Ke Atmosfir*, Presiding Siptegkan, Jakarta.

Tabel 5-1 : JARAK JANGKAUAN (KM)

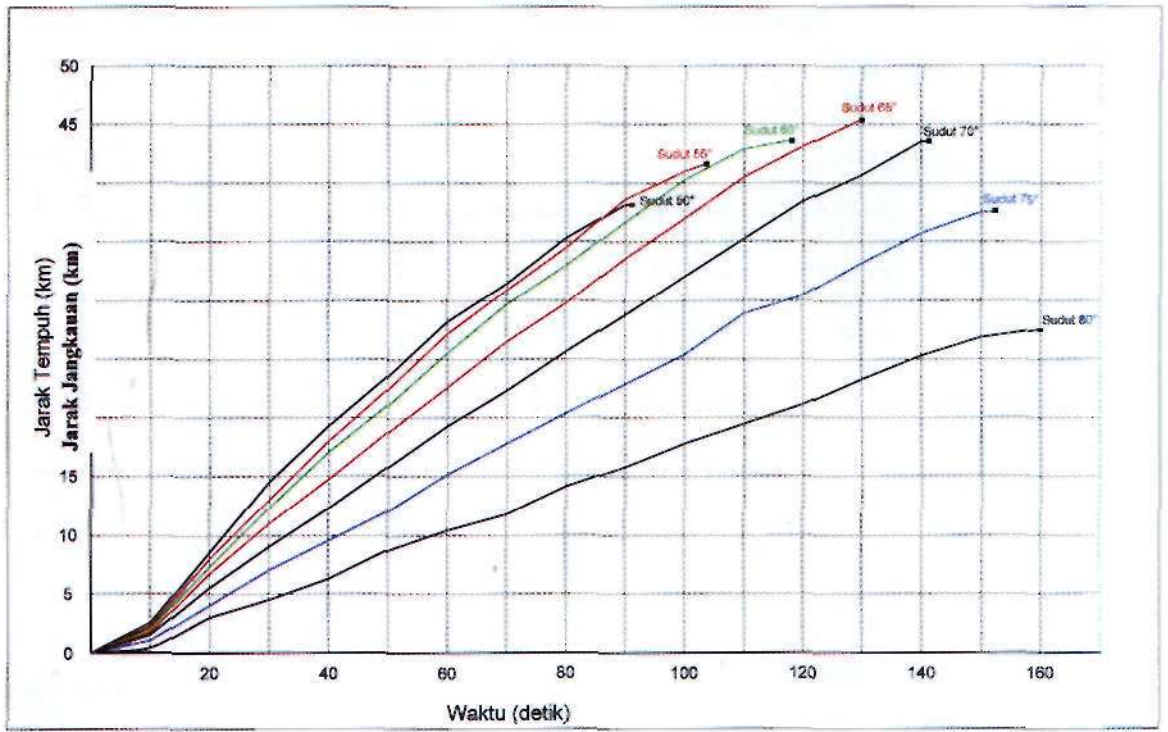
t	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
	x	x	x	x	x	x	x
0	0	0	0	0	0	0	0
10	2,289	2,074	1,834	1,570	1,285	0,981	0,663
20	8,873	8,167	7,327	6,354	5,258	4,051	2,754
30	14,563	13,572	12,308	10,770	8,979	6,958	4,750
40	19,507	18,390	16,840	14,853	12,460	9,702	6,644
50	23,978	22,861	21,127	18,770	15,832	12,375	8,497
60	28,067	27,070	25,246	22,582	19,141	15,014	10,334
70	31,781	31,035	29,219	26,314	22,409	17,644	12,169
80	35,073	34,729	33,042	29,970	25,662	20,274	14,004
90	37,850	38,081	36,678	33,539	28,884	22,904	15,839
92	37,850	38,701	37,378	34,240	29,523	23,430	16,206
100	-	40,974	40,053	36,987	32,056	25,532	17,673
104	-	41,485	41,303	38,319	33,306	26,577	18,407
110	-	-	43,038	40,248	35,154	28,136	19,508
114	-	-	44,086	41,476	36,361	29,166	20,239
118	-	-	44,573	42,644	37,543	30,187	20,968
120	-	-	-	43,202	38,123	30,693	21,330
128	-	-	-	45,223	40,339	32,677	22,767
130	-	-	-	45,223	40,859	33,160	23,122
138	-	-	-	-	42,764	35,013	24,511
140	-	-	-	-	43,186	35,450	24,848
142	-	-	-	-	43,186	35,874	25,180
148	-	-	-	-	-	37,049	26,135
150	-	-	-	-	-	37,403	26,435
152	-	-	-	-	-	37,403	26,726
154	-	-	-	-	-	-	27,004
158	-	-	-	-	-	-	27,518
160	-	-	-	-	-	-	27,518

Tabel 5-2 : KETINGGIAN VS WAKTU

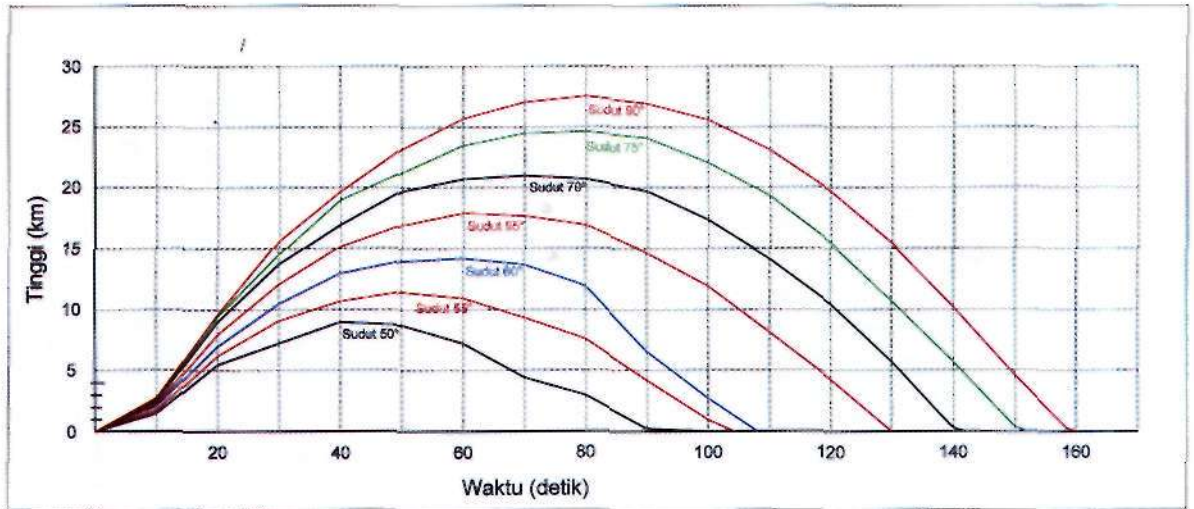
t	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
	H	H	H	H	H	H	H
0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,641	1,853	2,057	2,233	2,384	2,505	2,594
20	5,209	6,151	7,039	7,848	8,556	9,137	9,509
30	7,422	9,079	10,666	12,134	13,432	14,509	15,313
40	8,423	10,574	13,025	15,147	17,042	18,621	19,806
44	8,529	11,121	13,660	16,044	18,179	19,982	21,301
50	8,397	11,364	14,303	17,078	19,574	21,664	23,236
52	8,274	11,366	14,436	17,341	19,258	22,150	23,800
60	7,432	10,989	14,571	17,994	21,093	23,698	25,663
64	6,805	10,576	14,486	18,084	21,423	24,236	26,361
70	4,627	9,688	13,872	17,925	21,624	24,751	27,115
76	4,192	8,491	13,002	17,420	21,473	24,916	27,520
80	3,112	7,524	12,242	16,893	21,179	24,832	27,595
90	0,098	4,653	9,742	14,923	19,771	23,938	27,103
92	0,000	4,007	9,146	14,420	19,375	23,644	26,888
100	-	1,267	6,485	12,062	17,418	22,075	25,638
104	-	0,000	5,014	10,688	16,219	21,061	24,780
110	-	-	2,692	8,410	14,158	19,260	23,201
114	-	-	1,103	6,770	12,618	17,875	21,958
118	-	-	0,000	5,057	10,566	16,347	20,564
120	-	-	-	4,181	10,083	15,531	19,812
128	-	-	-	0,642	6,366	11,948	16,445
130	-	-	-	0,000	5,397	10,979	15,517
138	-	-	-	-	1,485	6,883	11,498
140	-	-	-	-	0,524	5,821	10,423
142	-	-	-	-	0,000	4,754	9,329
148	-	-	-	-	-	1,569	5,953
150	-	-	-	-	-	0,535	4,813
152	-	-	-	-	-	0,000	3,675
154	-	-	-	-	-	-	2,546
158	-	-	-	-	-	-	0,344
160	-	-	-	-	-	-	0,000

Tabel 5-3: KECEPATAN VS WAKTU

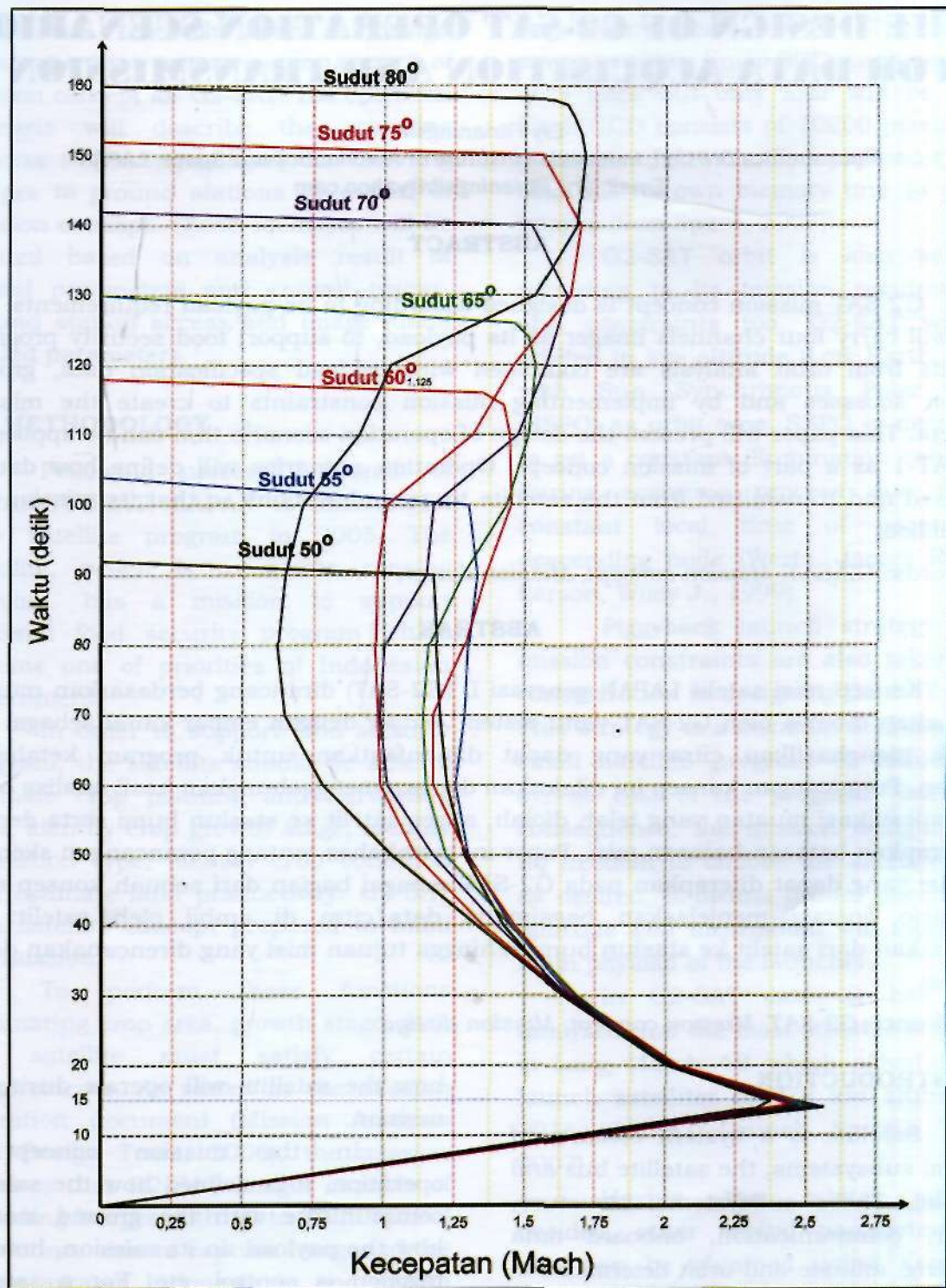
t	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
	V	V	V	V	V	V	V
0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,742	1,724	1,707	1,692	1,679	1,668	1,660
13	2,328	2,312	2,296	2,282	2,269	2,258	2,249
14	2,531	2,518	2,505	2,492	2,480	2,470	2,462
15	2,431	2,422	2,412	2,401	2,391	2,383	2,375
20	2,050	2,057	2,060	2,059	2,056	2,051	2,047
30	1,629	1,651	1,661	1,662	1,656	1,647	1,636
40	1,403	1,425	1,427	1,413	1,388	1,358	1,329
50	1,284	1,299	1,285	1,245	1,186	1,120	1,058
60	1,235	1,251	1,222	1,151	1,050	0,934	0,821
70	1,229	1,260	1,227	1,133	0,994	0,826	0,640
80	1,226	1,298	1,285	1,186	1,029	0,817	0,566
90	1,187	1,326	1,365	1,289	1,130	0,911	0,641
92	0,000	1,326	1,380	1,313	1,157	0,939	0,671
100	-	1,295	1,427	1,412	1,279	1,047	0,824
102	-	1,279	1,433	1,435	1,311	1,112	0,868
104	-	0,000	1,436	1,458	1,344	1,150	0,913
106	-	-	1,434	1,478	1,377	1,190	0,960
110	-	-	1,419	1,513	1,442	1,270	1,055
114	-	-	1,384	1,536	1,503	1,351	1,151
116	-	-	1,359	1,541	1,531	1,392	1,200
118	-	-	0,000	1,541	1,557	1,432	1,248
120	-	-	-	1,536	1,580	1,470	1,296
124	-	-	-	1,509	1,616	1,544	1,390
128	-	-	-	1,456	1,634	1,609	1,480
130	-	-	-	0,000	1,634	1,637	1,523
134	-	-	-	-	1,614	1,682	1,603
138	-	-	-	-	1,563	1,705	1,671
140	-	-	-	-	1,526	1,707	1,699
142	-	-	-	-	0,000	1,701	1,722
144	-	-	-	-	-	1,686	1,739
148	-	-	-	-	-	1,630	1,752
150	-	-	-	-	-	1,588	1,746
152	-	-	-	-	-	0,000	1,731
154	-	-	-	-	-	-	1,705
156	-	-	-	-	-	-	1,668
158	-	-	-	-	-	-	1,621
160	-	-	-	-	-	-	0,000



Gambar 5-1 : Jarak Jangkauan vs Waktu



Gambar 5-2 : Tinggi vs Waktu



Gambar 5-3 : Kecepatan vs Waktu