

ANALISIS GAYA STATIK UNTUK MENGETAHUI FAKTOR KEAMANAN STRUKTUR HIDUNG ROKET RXX 300 - LPN

Oleh :

ATIK BINTORO*

Abstrak

Roket RXX 300 - LPN direncanakan beroperasi pada kecepatan terbang $V = 0,5$ Mach, 1,5 Mach dan 3,25 Mach dengan sudut serang 6° . Berdasarkan analisis statika struktur pada setiap kecepatan, struktur hidung Roket RXX 300 - LPN dengan kontur aerodinamika berbentuk parabolik, akan mengalami tegangan kerja maksimal pada posisi 71.25 cm dari pangkal struktur, sebesar 35,3759 MPa untuk $V = 1,5$ Mach. Dari tinjauan beban statik dipilih Carbon fiber / epoxy of Ultrahight-modulus dengan susunan 45° sebagai bahan struktur hidung. Sehingga diperoleh harga perbandingan antara tegangan bahan dan tegangan kerja sebesar 5,847.

1. PENDAHULUAN

1.2. Latar Belakang Masalah

Hidung roket merupakan bagian struktur utama roket RXX300 - LPN yang berisi muatan (payload), seperti peralatan elektronik kendali inapun peralatan penunjang penelitian ilmiah. Oleh karena itu struktur hidung ini juga berfungsi sebagai pelindung muatan, menjaganya agar tidak mengalami kerusakan, terutama pada saat awal peluncuran (lift off) dan pada saat terbang. Dalam operasionalnya, struktur hidung akan mengalami pembebanan secara frontal dengan lingkungan di sekitarnya sebagai akibat adanya gaya dorong motor roket maupun beban aerodinamik pada saat terbang. Beban-beban ini akan menimbulkan tegangan yang dapat mempengaruhi fungsi dan keamanan struktur hidung roket. Secara garis besar struktur hidung roket ini akan mengalami empat buah tegangan yaitu tegangan torsi, tegangan lentur, tegangan arah membujur dan tegangan arah melintang. Oleh karena itu dirasa perlu dilakukan analisis gaya-gaya statik akibat beban-beban diatas untuk mengetahui sejauh mana kemampuan struktur hidung roket RXX300 - LPN dalam menjalankan fungsinya atau dengan kata lain seberapa besar faktor keamanan yang dimiliki.

*Asisten Peneliti Muda Bidang Struktur dan Mekanika Roket dan Satelit - Lapan

1.2. Tujuan

- Menentukan Jenis bahan struktur hidung Roket RKX300 - LPN
- Menentukan besar faktor keamanan struktur hidung Roket RKX300 - LPN

1.3. Ruang Lingkup

- Pembahasan penentuan faktor keamanan struktur hidung roket RKX300 - LPN dalam tulisan ini dibatasi hanya karena pengaruh gaya statik .
- Semua beban yang terjadi dianggap sebagai gaya statik.

2. METODE ANALISIS

Analisis gaya statik struktur hidung roket RKX 300 - LPN dilakukan berdasarkan kepada :

- Analisis beban sesuai posisi muatan (payload).
- Analisis struktur karena pengaruh beban aerodinamika.
- Analisis Tegangan dan pemilihan bahan.
- Penentuan angka faktor keamanan berdasarkan nilai perbandingan antara Tegangan bahan dan tegangan kerja maksimal yang terjadi pada struktur hidung roket.

2.1. Beban Struktur Hidung

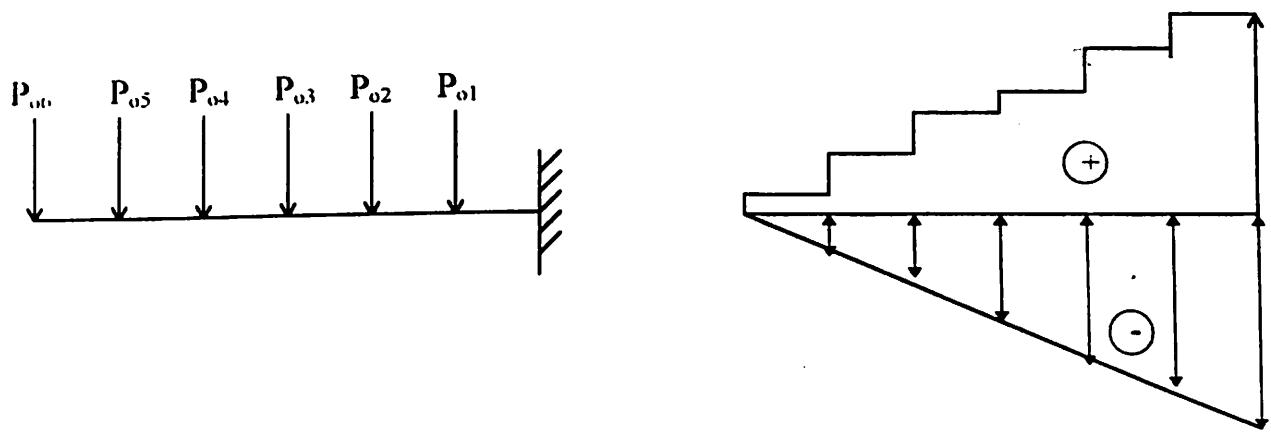
Dalam operasionalnya struktur hidung roket akan mengalami pembebanan, baik pada saat di bumi maupun saat meluncur.

- Pada saat masih berada di bumi, Struktur menerima gaya dari muatan dan berat struktur-nya sendiri.
- Pada saat meluncur, struktur hidung mengalami dua buah gaya yaitu gaya dalam dan gaya luar. Gaya dalam merupakan paduan antara beban muatan, gaya dorong dan kecepatan serta percepatan terbang roket. Sedangkan gaya luar berasal dari beban aerodinamika berupa gaya hambat, gaya angkat dan momen, terutama pada saat roket berperilaku geleng, guling dan angguk. Kedua jenis beban di atas terdistribusi sepanjang kurva selimut struktur hidung roket.

Untuk mempermudah perhitungan dalam analisis ini gaya tersebut dianggap sebagai gaya yang terkonsentrasi pada titik tangkap yang berjarak tertentu dari titik tinjauan.

Beban Struktur dan Muatan

Beban struktur hidung dan muatan merupakan beban terpusat yang terdistribusi menuju arah sumbu Z negatif yang terletak pada masing-masing titik tangkap. Beban ini dihitung untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menyangga beratnya sendiri dan berat muatan pada waktu masih di bumi. Sehingga gaya-gaya yang diperhitungkan adalah : Gaya lintang dan momen lentur akibat pembebanan statis. Posisi muatan dalam struktur hidung roket seperti pada gambar 1.



Gambar 1 POSISI MUATAN, BIDANG LINTANG DAN BIDANG MOMEN

Untuk posisi pembebanan seperti gambar 1 berlaku rumus di bawah ini.

- Gaya lintang :

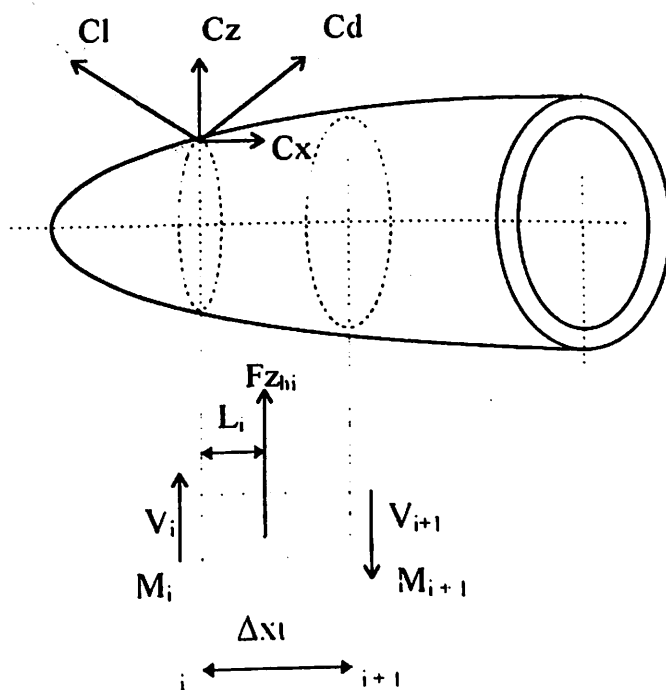
$$R_A = P_{01} + P_{02} + P_{03} + P_{04} + P_{05} + P_{06} \dots\dots\dots 1$$

- Momen lentur :

$$M_A = P_{01} L_1 + P_{02} L_2 + P_{03} L_3 + P_{04} L_4 + P_{05} L_5 + P_{06} L_6 \dots\dots\dots 2$$

Distribusi Beban Aerodinamik

Beban aerodinamik yang terjadi pada hidung roket terdiri dari beban akibat gaya angkat dan gaya hambat yang terdistribusi secara merata pada seluruh bagian struktur hidung. Gaya-gaya ini dapat diproyeksikan dalam arah sumbu tegak Z dan sumbu datar X seperti pada gambar di bawah ini. Gaya F_x dan F_z masing-masing merupakan gaya dalam arah X dan Z.



Gambar 2 DISTRIBUSI BEBAN AERODINAMIK

Dari gambar di atas berlaku :

Momen lentur :

$$M_{y_{i+1}} = M_i + V_i \cdot \Delta x_i + F_{z_{hi}} \cdot L_i \dots\dots\dots 3$$

Momen torsi :

$$M_x = F_{z_{hi}} \cdot y \dots\dots\dots 4$$

dimana :

$$V_i = \sum_{n=0}^{n=j-1} V_n \dots\dots\dots 5$$

M_i = Jumlah momen sebelah kanan

$F_{z_{hi}}$ = Gaya aerodinamika hidung roket

$$F_{z_{hi}} = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_z \cdot S_{hi} \dots\dots\dots 6$$

$$C_z = C_l \cos \alpha + C_d \sin \alpha \dots\dots\dots 7$$

S = Luasan proyeksi hidung roket

v = Kecepatan terbang roket

ρ = Massa jenis udara

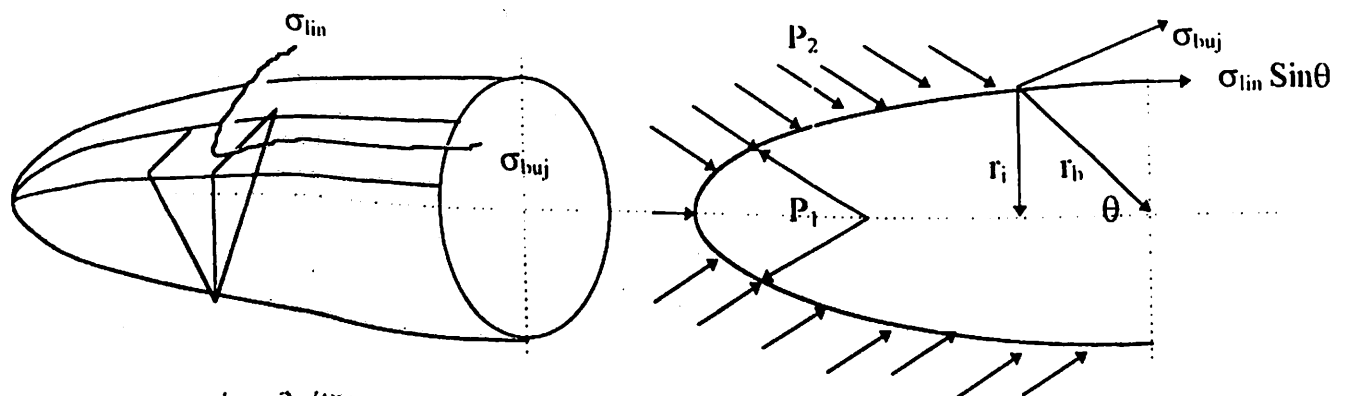
2.2. Momen Inersia Penampang

Momen inersia penampang perlu dihitung untuk mengetahui harga momen tahanan, selanjutnya digunakan untuk menghitung tegangan lentur yang ditimbulkan oleh momen lentur pada struktur hidung. Momen inersia diartikan sebagai harga integral YdA , dimana Y adalah jarak antara titik pusat penampang lintang dengan bagian tepi penampang. Sedang A adalah luas penampang yang ditinjau. Struktur hidung roket mempunyai bentuk simetris tegak dengan penampang lintang berbentuk lingkaran. Oleh karena itu momen inersianya terhadap sumbu x adalah :

$$I_o = \frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{32} \dots\dots\dots 8$$

dimana : d_o = diameter luar hidung roket ; d_i = diameter dalam hidung roket

2.3. Tegangan Struktur Hidung



Gambar 3 TEGANGAN KERJA PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET

Tegangan kerja yang terjadi pada struktur hidung dihitung berdasarkan gaya-gaya yang terjadi baik akibat gaya dalam maupun gaya geser. Sesuai dengan konfigurasi struktur hidung roket maka tegangan yang terjadi adalah tegangan dalam arah membujur dan tegangan melintang seperti pada gambar 3. Hubungan antara kedua tegangan tersebut adalah :

$$\frac{\sigma_{l.m.}}{r_l} + \frac{\sigma_{l.m.}}{r_h} = \frac{P_2 + P_1}{t} \dots\dots\dots 9$$

Sedangkan tegangan akibat beban aerodinamik dan beban statik adalah :

- Tegangan lentur

$$\sigma_l = \frac{My}{I_o} \dots\dots\dots 10$$

- Tegangan torsi

$$\sigma_t = \frac{Mx \cdot r}{I_o} \dots\dots\dots 11$$

2.5. Data masukan

Data masukan yang perlu diketahui dalam perhitungan struktur hidung roket adalah :

- Data aerodinamika yang meliputi : koefisien gaya angkat, koefisien gaya hambat, Kecepatan terbang, dan sudut serang.
- Data Konfigurasi aerodinamika struktur roket.
- Data Struktur : Ukuran dan bentuk , berat maksimal struktur roket.
- Data Kondisi Lingkungan : Ketinggian terbang, Tekanan Udara dan Massa jenis udara.
- Data muatan roket : ukuran dan bentuk, berat maksimal.

3. ANALISIS STRUKTUR HIDUNG ROKET RXX 300 - LPN

3.1. Perhitungan Struktur Hidung

TABEL 3.1

DATA AERODINAMIKA DAN LINGKUNGAN OPERASIONAL ROKET RXX 300-LPN

Data Struktur	A e r o d i n a m i k a				L i n g k u n g a n			Muatan
	v (Mach)	Cl	Cd	α °	ρ (kg/m ³)	T (m)	P (N/m ²)	w (kg)
Hidung	0,5	0,182	0,104	6	1,0065	2000	$7,9 \cdot 10^{-4}$	1 s/d 6
	1,5	0,202	0,860	6	1,0065	2000	$7,9 \cdot 10^{-4}$	1 s/d 6
	3,25	0,021	0,037	6	1,0065	2000	$7,9 \cdot 10^{-4}$	1 s/d 6

Sumber : Referensi No. 4

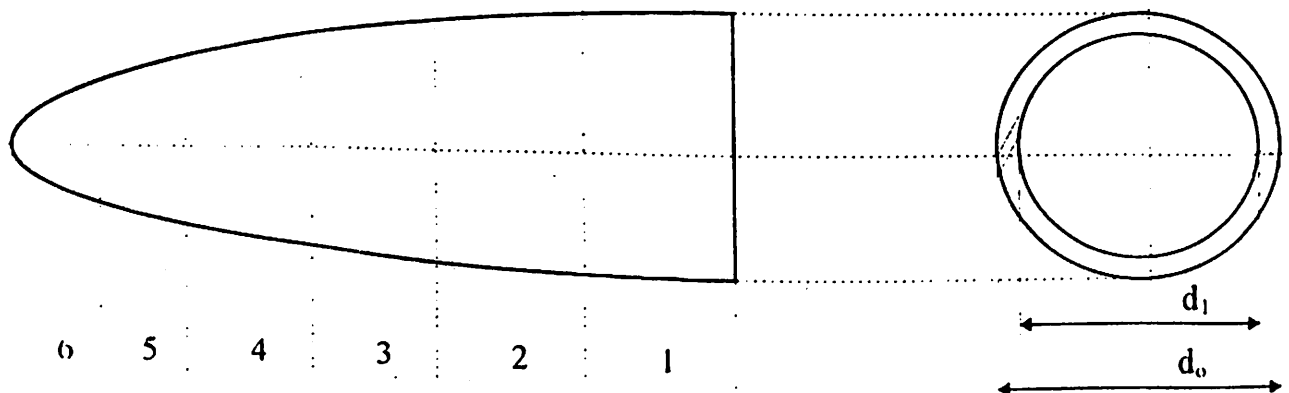
TABEL 3.2

UKURAN DAN BEBAN MUATAN STRUKTUR HIDUNG

Bagian Ke	Tinggi (Cm)	Jari-jari (Cm)	Jari-jari Dalam (Cm)	Beban (Kg)
1.	15,0	15,0	14,7	2
2.	15,0	15,0	14,7	1
3.	15,0	14,5	14,2	1
4.	15,0	14,0	13,7	1
5.	7,5	11,0	10,7	1
6.	7,5	6,5	6,2	0

Sumber : Bidang Struktur dan Mekanika Roket dan Satelit - LAPAN

Untuk mempermudah perhitungan, panjang struktur hidung roket dibagi menjadi 6 (enam) bagian seperti pada gambar 4 dengan ukuran seperti pada tabel 3.2. Dalam perhitungan ini kecepatan terbang roket ditetapkan hanya pada kecepatan 0,5 M, 1,5 M dan 3,25 M sedangkan kecepatan transonik tidak dipertimbangkan. Selanjutnya data beban aerodinamika dan ukuran tersebut diolah berdasarkan teori yang telah diuraikan. sehingga diperoleh momen dan tegangan pada setiap bagian struktur hidung roket. Adapun hasil perhitungan gaya-gaya statik struktur hidung roket RKX 300- LPN dapat dilihat pada tabel L.1 dan grafik pada gambar L.1 sampai dengan L.7 di lembar lampiran.



GAMBAR 4 KONFIGURASI STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN

3.2. Analisis Tegangan

Analisis tegangan dilakukan berdasarkan hasil perhitungan struktur hidung roket. Dari grafik distribusi gaya aerodinamika pada struktur hidung roket RKX 300 - LPN seperti pada gambar L.1 terlihat bahwa gaya aerodinamika maksimal pada masing-masing kecepatan adalah sebagai berikut : Untuk kecepatan terbang $V = 0,5$ Mach adalah 266,837 N yaitu terjadi pada bagian ke 1 dan ke 2 yakni pada posisi 15 cm dari pangkal struktur, Untuk $V = 1,5$ Mach gaya maksimal yang terjadi adalah : 3639,562 N pada bagian ke 1 dan 2. Dan untuk

kecepatan terbang $V = 3,25$ Mach adalah $1436,844$ N juga terjadi pada bagian 1 dan 2 . Besar gaya-gaya diatas akan mempengaruhi momen dan tegangan maksimal yang terjadi. Dari tabel L.1 dan grafik-grafik di lembar lampiran terlihat bahwa tegangan kerja terbesar terjadi pada saat roket RXX300 - LPN terbang pada kecepatan $1,5$ Mach yaitu sebesar $7,071851$ MPa untuk tegangan lentur. Hal ini dikarenakan pada kecepatan tersebut kerja Momen lenturnya juga terbesar jika dibandingkan dengan kecepatan terbang yang lain. Demikian juga untuk beban aerodinamika yang terjadi seperti terlihat pada uraian di atas. Selanjutnya tegangan lentur terbesar ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan bahan struktur hidung dan untuk mengetahui angka faktor keamanan yang dimiliki oleh struktur hidung roket RXX300- LPN.

3.3. Penentuan bahan Struktur Hidung Roket

Bahan struktur hidung roket RXX 300 - LPN dapat ditentukan dengan melihat tegangan lentur terbesar yakni terjadi pada kecepatan $1,5$ Mach. Apabila roket RXX 300 - LPN akan diterbangkan dengan kecepatan tersebut, maka diperlukan bahan struktur yang mampu menahan tegangan kerja sebesar $7,071851$ MPa. Apabila faktor pembesaran tegangan kerja diberikan angka 5 untuk mengantisipasi analisis lain yang belum dilakukan (misal pengaruh termal stress, buckling, dll) maka tegangan kerja nyata yang terjadi adalah $35,3759$ MPa. Untuk itu dipilih bahan struktur hidung roket RXX300 - LPN adalah carbon fiber/epoxy jenis ultrahight-modulus dengan properties $\pm 45^0$ [Ref. No. 3] yang mempunyai kekuatan tarik sebesar $206,85$ MPa. Sehingga dapat dikatakan bahwa struktur ini mempunyai nilai faktor perbandingan antara tegangan bahan dan tegangan kerja atau sering disebut sebagai faktor keamanan struktur karena pengaruh gaya statik sebesar $\sigma_b/\sigma_k = 5,847$.

4. KESIMPULAN

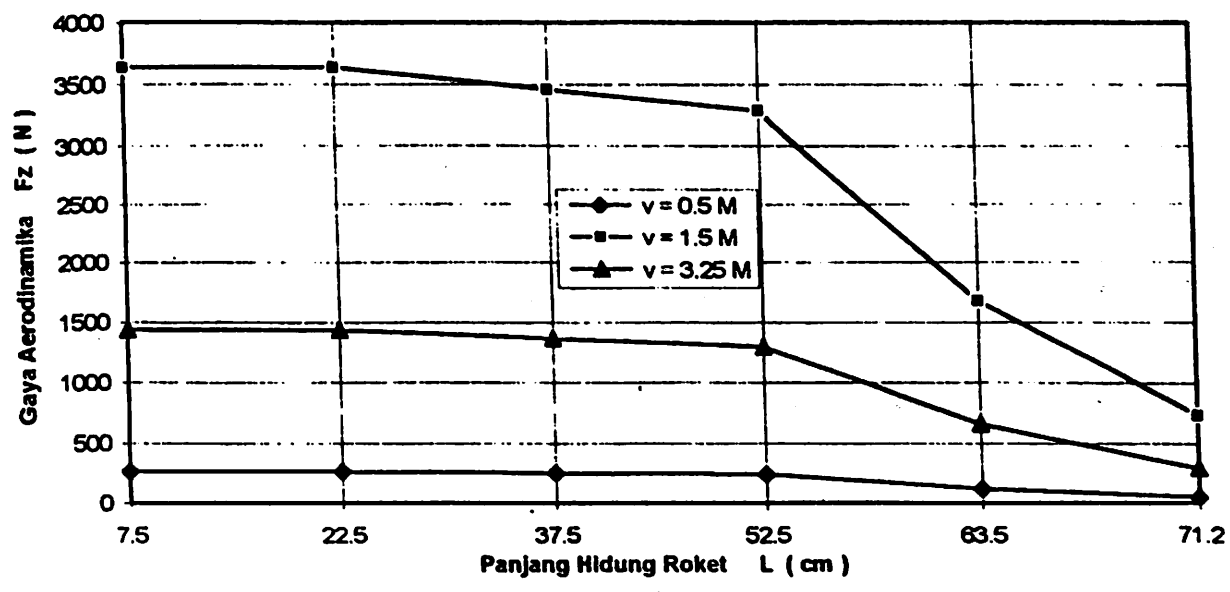
Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa beban terbesar terjadi pada kecepatan terbang $1,5$ Mach, yakni mempunyai angka pembebanan sebagai berikut :

1. Gaya maksimal yang terjadi adalah $F_z = 3639,562$ N.
2. Momen maksimal yang terjadi adalah $M_y = 1725,1135$ MPa.
3. Tegangan kerja maksimal yang terjadi adalah $\sigma_k = 35,3759$ MPa.
4. Bahan struktur yang dipilih adalah carbon fiber/epoxy jenis ultrahight-modulus dengan properties $\pm 54^0$.
5. Struktur hidung RXX 300 - LPN mempunyai faktor perbandingan antara tegangan bahan dan tegangan kerja atau faktor keamanan sebesar $5,847$.
6. Tebal rata-rata hidung struktur adalah 3 mm .
7. Konfigurasi struktur hidung roket RXX300 LPN seperti pada gambar 4 dapat digunakan sebagai acuan perancangan.

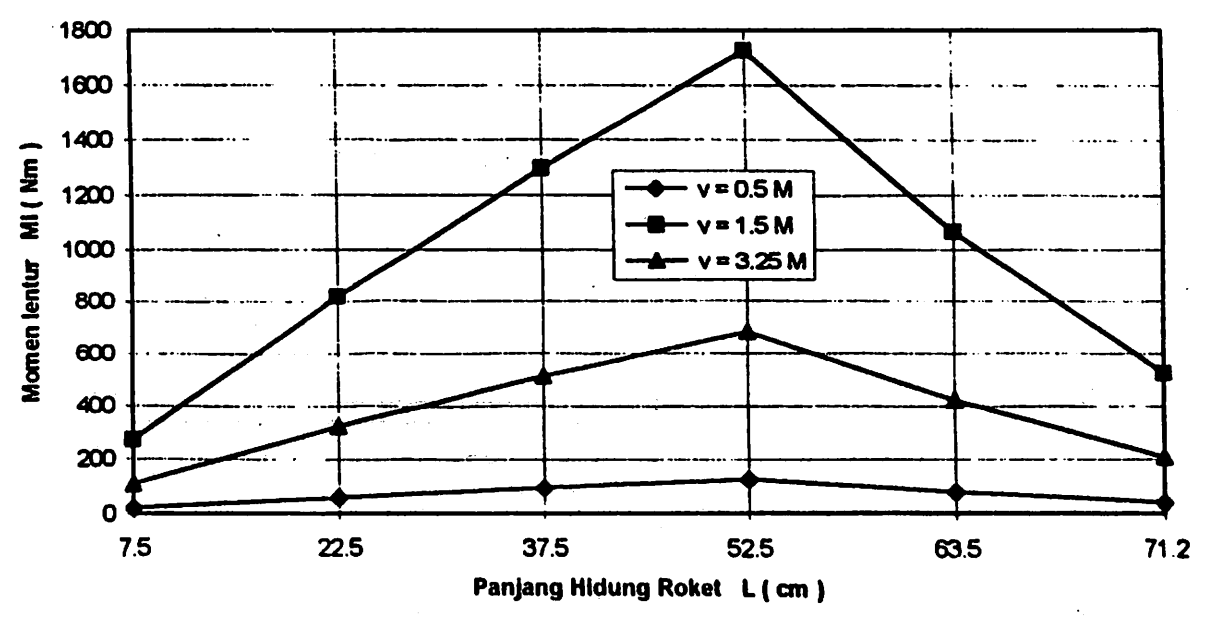
DAFTAR PUSTAKA

1. Abraham. 1962, **Structural Design of Missiles and Spacecraft**, McGraw Hill Book Company, INC., New York
2. Bruhn, EF., 1965, **Analysis and Design Of Flight Vehicle Structures** , Cincinnati, Tristate Offset Co.
3. Faupel J.H., Fisher F.E., 1981, **Engineering Design ,A Synthesis Stress Analysis and Material Engineering**,12 ed, Awilley Interscience Publication,John Wiley&Sons, New York
4. Group Aero, 1992, **Dokumen Teknik Prediksi Teoritis Karakteristik Aerodinamika Roket Kendali RKX 300 - LPN A**, Pusat Roket dan Satelit, Lapan, Rumpin
5. Mitsuo Makino, 1989, **Kokurikigaku no kisoku** , Sangyo Tosyo Co, Ltd, Tokyo. ,
6. Peery David J., 1950, **Aircraft Stuctures** , New York McGraw Hill Book Company, Inc.
7. Timoshenko S.,Kreieger S.Woinowsky,1988, **Teori Pelat dan Cangkang**, penerjemah Hendarko S., Jakarta, Penerbit Erlangga

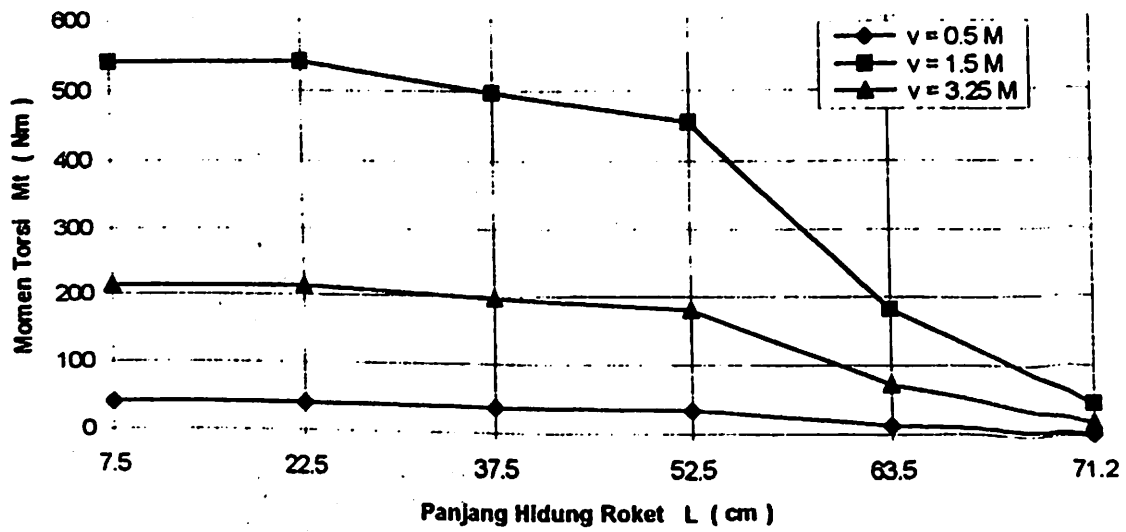
LEMBAR LAMPIRAN



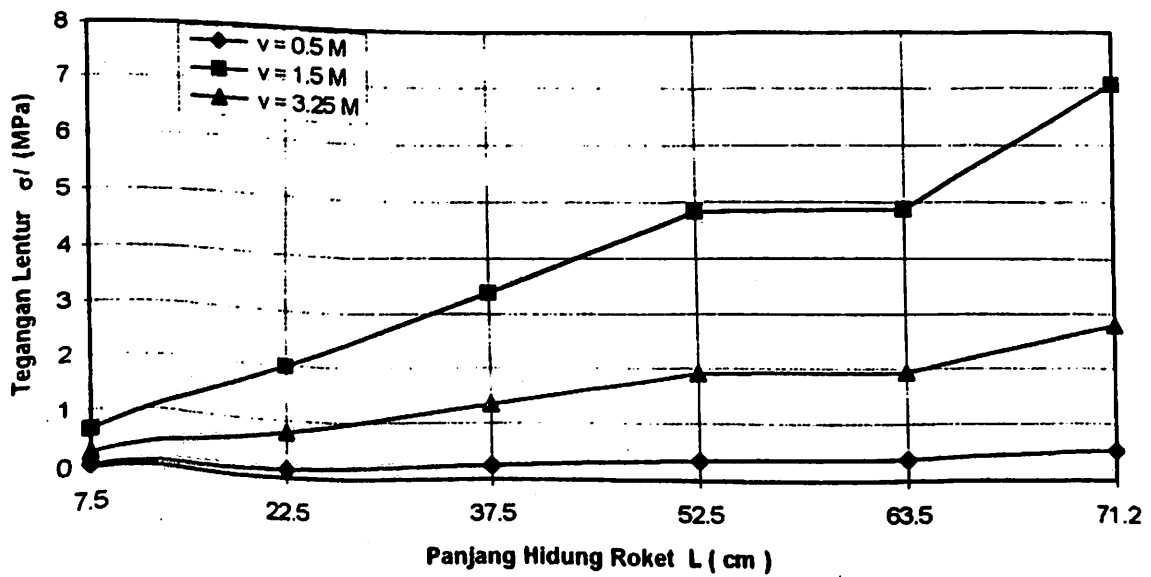
GAMBAR L.1. : DISTRIBUSI GAYA AERODINAMIKA PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN



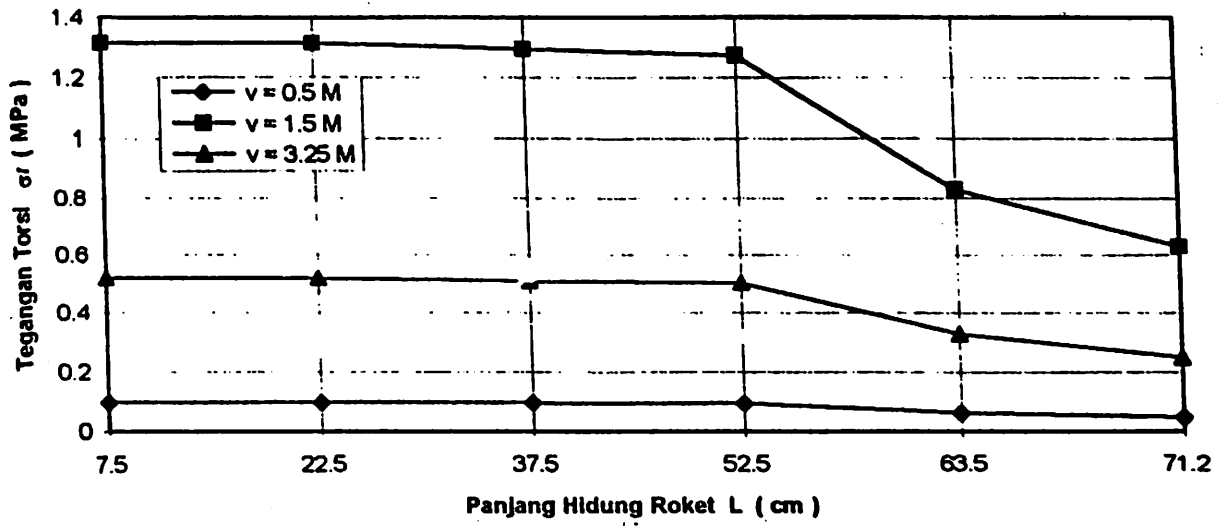
GAMBAR L.2. : DISTRIBUSI MOMEN LENTUR PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN



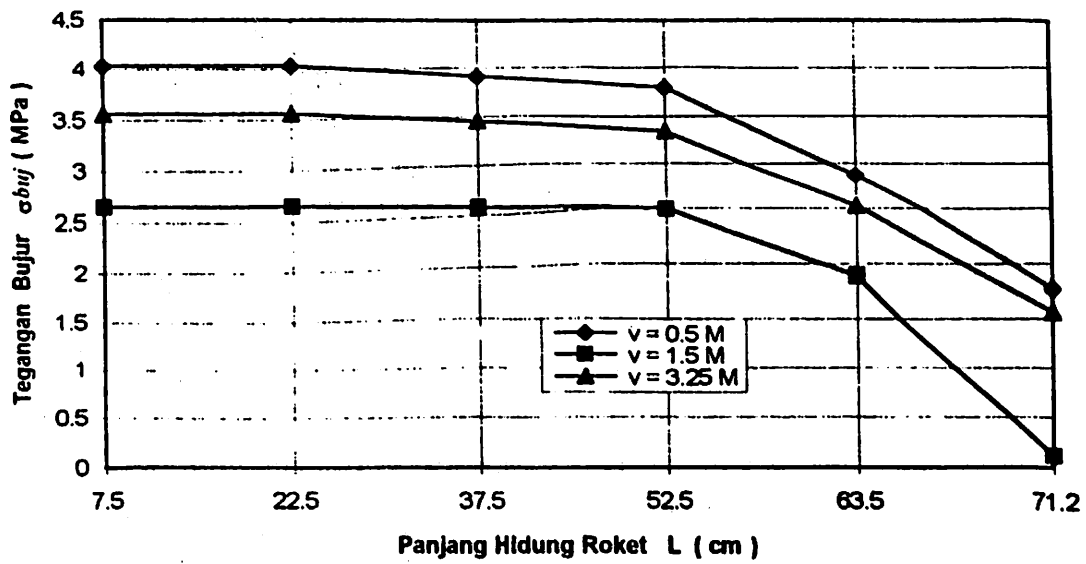
GAMBAR L.3 : DISTRIBUSI MOMEN TORSI PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN



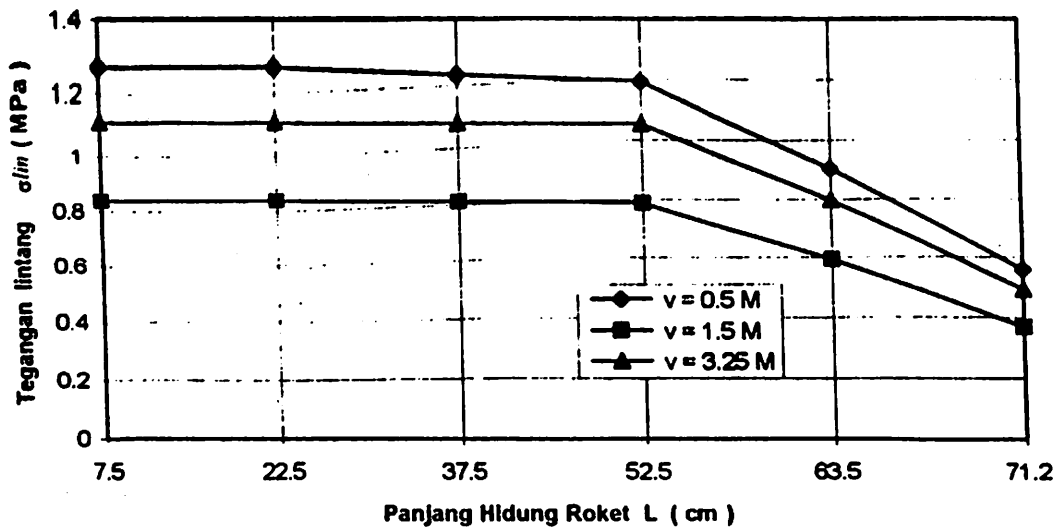
GAMBAR L.4 : DISTRIBUSI TEGANGAN LENTUR PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN



GAMBAR L.5 : DISTRIBUSI TEGANGAN TORSI PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN



GAMBAR L.6 : DISTRIBUSI TEGANGAN ARAH MEMBUJUR PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN



GAMBAR L.7 : DISTRIBUSI TEGANGAN ARAH MELINTANG PADA STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX 300 - LPN

TABEL L.1
HASIL PERHITUNGAN
STRUKTUR HIDUNG ROKET RKX300 - LPN

Gaya Aerodinamika Fz (N)						
L (cm)	v = 0.5 M	v = 1.5 M	v = 3.25 M			
7.5	266.837	3639.562	1436.844			
22.5	266.837	3639.562	1436.844			
37.5	253.68	3460.102	1365.996			
52.5	240.889	3285.645	1297.123			
63.5	122.81	1675.087	661.299			
71.2	54.098	740	291.32			
Momen Lentur Ml (Nm)			Momen Torsi Mt (Nm)			
L (cm)	v = 0.5 M	v = 1.5 M	v = 3.25 M	v = 0.5 M	v = 1.5 M	v = 3.25 M
7.5	20.1628	273.1172	107.9133	39.6253	540.4749	213.3713
22.5	60.1884	819.0514	323.4399	39.6253	540.4749	213.3713
37.5	95.28	1297.6884	512.3986	36.4031	496.5247	196.0205
52.5	126.617	1725.1135	681.1396	33.3632	455.0619	179.6516
63.5	78.3421	1067.1425	421.3595	13.3249	181.7469	71.7511
71.2	38.5177	525.3672	207.4071	3.4352	46	18.4977
Tegangan Lentur σ_l (MPa)			Tegangan Torsi σ_t (MPa)			
L (cm)	v = 0.5 M	v = 1.5 M	v = 3.25 M	v = 0.5 M	v = 1.5 M	v = 3.25 M
7.5	0.048993	0.663644	0.262217	0.096285	1.313294	0.518468
22.5	0.146251	1.990209	0.785923	0.096285	1.313294	0.518468
37.5	0.248021	3.377975	1.333811	0.094759	1.292489	0.510255
52.5	0.353947	4.822415	1.904071	0.093264	1.272088	0.502201
63.5	0.367878	4.874871	1.924834	0.060871	0.830247	0.327769
71.2	0.518477	7.071851	2.791861	0.046241	0.630705	0.248993
Tegangan Bujur σ_{bu} (MPa)			Tegangan Lintang σ_{lm} (MPa)			
L (cm)	v = 0.5 M	v = 1.5 M	v = 3.25 M	v = 0.5 M	v = 1.5 M	v = 3.25 M
7.5	4.034202	2.654552	3.555598	1.270773	0.836183	1.120013
22.5	4.034202	2.654552	3.555598	1.270773	0.836183	1.120013
37.5	3.911926	2.574093	3.447828	1.232256	0.810839	1.086066
52.5	3.789454	2.493505	3.339886	1.193678	0.785454	1.052064
63.5	2.870338	1.888716	2.529811	0.904156	0.594945	0.796891
71.2	1.771976	0.116591	1.561755	0.558172	0.367284	0.491952