Penentuan Kelayakan Struktur Sirip Roket RX-150-LPN Berdasarkan Lendutan Struktur

Atik Bintoro*)

ABSTRACT

The capability of Wing structures of RX-150-LPN rocket made from stainless steel plate with the thinckness of 8, 7, 6 and 5 mm has been analysed. It includes the indurance of axial and tangential forces. Both forces can create deflection and stress to wing structures. It is obtained that the maximum stress is 8.643 x 10^5 Nm^{-2} and deflection ratio is 1.939 % in 5 mm.

ABSTRAK

Telah diteliti kelayakan beberapa struktur sirip Roket RX-150-LPN yang terbuat dari stainless steel berbentuk pelat. Masing-masing tebalnya 8, 7, 6 dan 5 mm. Penelitian meliputi katahanan struktur terhadap gaya tangensial dan aksial. Kedua gaya ini menimbulkan tegangan dan lendutan pada struktur sirip. Tegangan maksimal yang ditimbulkan adalah 8.643 x 10^5 Nm^{-2} sedangkan rasio lendutannya (deflection) adalah 1,936 %, terjadi pada tebal struktur sirip 5 mm.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sirip Roket RX-150-LPN merupakan salah satu bagian struktur yang dapat menentukan arah terbang roket, tidak tertutup kemungkinan terjadi kegagalan misi peluncuran roket karena struktur sirip tidak layak terbang. Oleh sebab itu agar diperoleh arah terbang seperti yang diinginkan, maka kelayakan struktur sirip merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh struktur roket secara keseluruhan. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kelayakan struktur adalah pengaruh gaya-gaya yang terjadi baik pada saat berada di bumi maupun pada saat meluncur di udara. Gaya-gaya ini berasal dari beban aero-dinamika pada permukaan sirip, selama roket tersebut terbang di udara. Oleh sebab itu untuk mengetahui secara mendalam mengenai kelayakan struktur sirip dirasa perlu dilakukan penelitian, analisis dan perhitungan yang cermat mengenai pengaruh gaya-gaya tersebut.

1.2 Tujuan Penelitan

Penelitian kelayakan struktur sirip roket RX-150-LPN ini bertujuan untuk :

- Mengetahui rasio lendutan struktur sirip roket RX-150-LPN;
- Memperoleh ukuran tebal pelat untuk struktur sirip roket RX-150-LPN.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada :

- Pengaruh gaya statik pada struktur sirip roket RX-150-LPN, untuk struktur pelat tipis;
- Kelayakan struktur ditinjau berdasarkan rasio lendutan struktur.

1.4 Asumsi

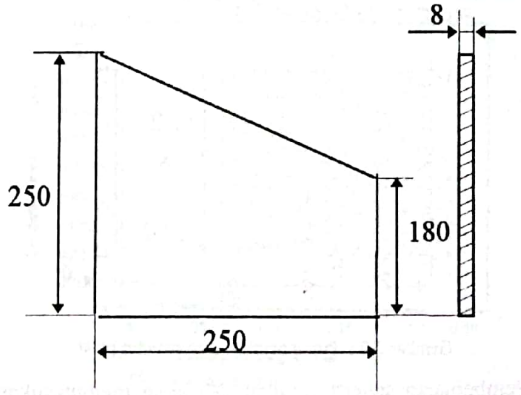
Asumsi dalam penelitian ini adalah :

- Roket bekerja pada kondisi yang diijinkan;
- Permukaan struktur pelat untuk sirip roket dianggap rata;
- Gaya statik yang terjadi konstan;
- Bahan struktur pelat homogen.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Konfigurasi Struktur Sirip Roket RX-150-LPN

Sirip Roket RX-150-LPN terbuat dari pelat tipis, panjang bentangnya 250 mm, panjang searah sumbu badan bagian depan 250 mm, sedang bagian belakang 180 mm, seperti terlihat pada Gambar 2-1.



satuan ukur : mm

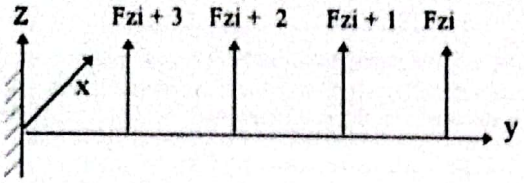
Gambar 2-1 : Konfigurasi sirip roket rx-150-LPN

*) Peneliti Bidang Struktur, Mekanika Roket dan Sistem Antariksa - LAPAN

Dipindai dengan CamScanner

2.2 Distribusi Beban Struktur

Beban struktur sirip roket RX-150-LPN ditentukan karena pengaruh aerodinamika pada saat roket terbang. Pengaruh ini berupa koefisien gaya hambat dan atau koefisien gaya angkat. Distribusi gaya aerodinamika diasumsikan sebagai gaya statik yang terpusat pada titik-titik tangkap tertentu, seperti pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 : Gaya aerodinamika sirip roket rx-150-LPN

Gaya aerodinamika yang dimaksud adalah gaya aerodinamika pada arah sumbu Z (F_z), beban lintang karena berat struktur tanpa muatan dan gaya geser (Q_r) permukaan struktur sirip yang berupa pelat. Adapun besarnya beban tersebut adalah sebagai berikut :

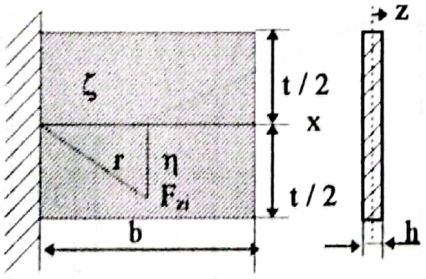
- Gaya aerodinamika pada sumbu Z

$$Fz = 0{,}5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Cz \cdot A \quad \text{..... (2-1)}$$
$$Cz = C1 \cos \alpha + Cd \sin \alpha \quad \text{..... (2-2)}$$

dengan,

ρ	=	Masa jenis udara
V	=	Kecepatan terbang roket
A	=	Luas permukaan sirip roket
C1	=	Koefisien gaya angkat
Cd	=	Koefisien gaya angkat
α	=	Sudut antara sumbu Z dan arah C1 atau Cd

- Struktur sirip roket RX-150-LPN terbuat dari pelat tipis, dengan posisi beban seperti pada Gambar 2-2, oleh karena itu maka pembebanan gaya luarnya, dianggap sebagai pelat kantilever (Timoshenko, Swoinowsky, Krieger, 1988), seperti pada Gambar 2-3 untuk beban tangensial, dianggap pembebanan balok penopang sederhana seperti pada Gambar 2-4.



Gambar 2-3 : Posisi pembebanan struktur pelat

Pembebanan seperti Gambar 2-3 akan menghasilkan gaya geser, tegangan geser dan lendutan pelat yang besarnya seperti pada persamaan-persamaan di bawah ini.

- Gaya geser pelat adalah (Timoshenko, Swoinowsky, Krieger, 1988) :

$$Q_z = \frac{2F_{zi}}{\pi r} \cos^3 \varphi \quad \text{..... (2-3)}$$

- Gaya geser pelat(Timoshenko, Swoinowsky, Krieger, 1988):

$$\tau = \frac{6Q}{h^3}\left(\frac{h^2}{4} - z^2\right) \quad \text{..... (2-4)}$$

- Lendutan pelat :

$$w = \alpha \frac{F.b^2}{D} \quad \text{..... (2-5)}$$

dengan,

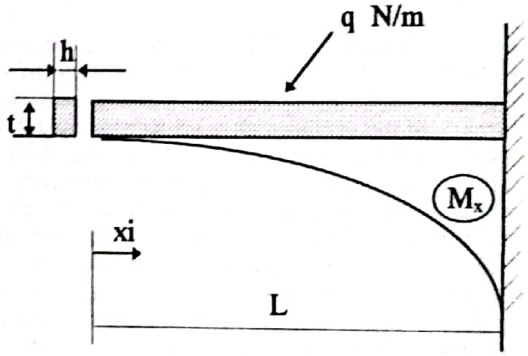
α = faktor koreksi (Timoshenko, Swoinowsky, Krieger, 1988)

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-v^2)} \quad \text{..... (2-6)}$$

dengan,

E = modulus elastisitas bahan
V = bilangan poison

Untuk beban aksial, diperoleh tegangan lentur dan lendutan seperti di bawah ini.



Gambar 2-4 : Posisi beban aksial

Momen lentur [5] :

$$M_x = \frac{q.x_i^2}{2} \quad \text{..... (2-7)}$$

Tegangan lentur :

$$\sigma_i = \frac{M_x.c}{I} \quad \text{..... (2-8)}$$

Lendutan struktur :

$$w = \frac{q\left(x_i^4 - 4L^3x_i + 3L^4\right)}{24EI} \quad \text{..... (2-9)}$$

dengan :
c : jarak sumbu ke prrmukaan terlentur

$$c = \frac{t}{2} \quad \text{..... (2-10)}$$

Dipindai dengan CamScanner

I : momen inersia penampang

$$I = \frac{h.t^3}{12} \quad \text{..... (2-11)}$$

3 PENGOLAHAN DATA

3.1 Data Kondisi Terbang Roket

Roket RX-150-LPN dijadwalkan akan terbang dengan kondisi terbang sebagai berikut:

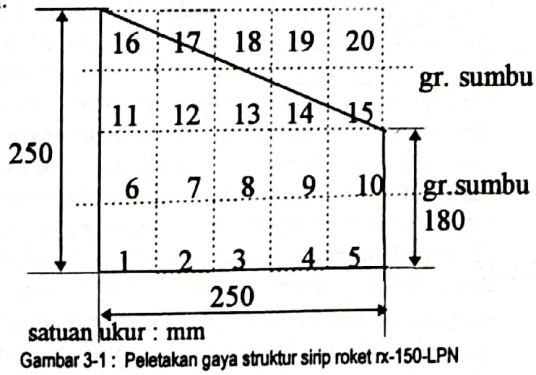
Tinggi terbang	:	50.000 m
Gaya dorong	:	29.400 N
Gaya gravitasi bumi	:	9,8 m/det^2
Kecepatan terbang	:	0,5 M s/d 0,8 M
Sudut serang	:	0^o
Koefisien gaya angkat	:	0,001
Koeifien gaya hambat	:	0,02
Gaya aksial	:	3000 N
Gaya tangensial	:	1500 N
Massa jenis udara	:	1,112 Kg/m^3
Kecepatan udara	:	337 m/det

3.2 Pengolahan Data

Gaya statik yang bekerja pada struktur sirip roket RX-150-LPN berasal dari gaya aerodinamik dan berat struktur sirip. Seperti tercantum dalam data kondisi terbang, berat total gaya ini adalah 3000 N untuk gaya tangensial dan 1500 N untuk gaya aksial. Masing-masing akan dilihat pengaruhnya terhadap struktur sirip roket dengan cara terlebih dahulu ditentukan peletakan gayanya pada struktur sirip roket kemudian dihitung beban kerja yang terjadi.

3.2.1 Perhitungan struktur sirip roket RX-150-LPN karena gaya tangensial

Pengaruh gaya tangensial pada struktur sirip roket diselidiki dengan cara membagi permukaan sirip menjadi 5 (lima) bagian searah sumbu badan dan 2 (dua) bagian searah bentangan sirip yaitu bagian persegi empat dan bagian segitiga. Bagian segiempat dibagi dua oleh sumbu pembagi. Sedangkan bentangan segitiga ditambahkan segitiga kayal agar seolah-olah menjadi bangun segiempat. Bangun ini kemudian dibagi dua oleh sumbu pembagi. Pembebanan pada bagian segitiga kayal ini dianggap nol.



Gambar 3-1 : Peletakan gaya struktur sirip roket rx-150-LPN

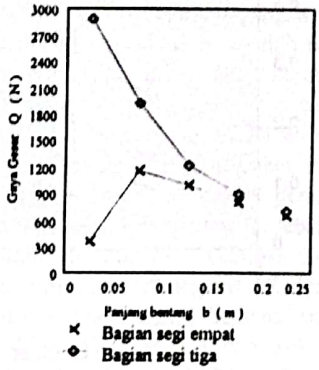
Dari pembagian tersebut diperoleh posisi gaya tangensial pada bagian 1 sampai dengan 20 seperti pada Gambar 3-1.

Perhitungan struktur dilakukan dua tahap. Pertama, untuk posisi sampai dengan 10. Pada posisi ini letak gaya tangensial simetris, maka hanya dihitung posisi 1 sampai dengan 5 saja. Gaya tangensial bekerja pada masing-masing titik pusat, sebesar :

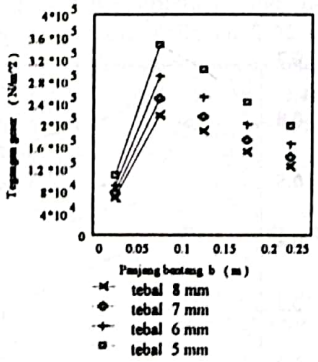
$$Fz = \frac{3000}{(180*250)+\left(\frac{1}{2}*250*70\right)}*(90*50)$$

$$Fz = 251{,}16279N$$

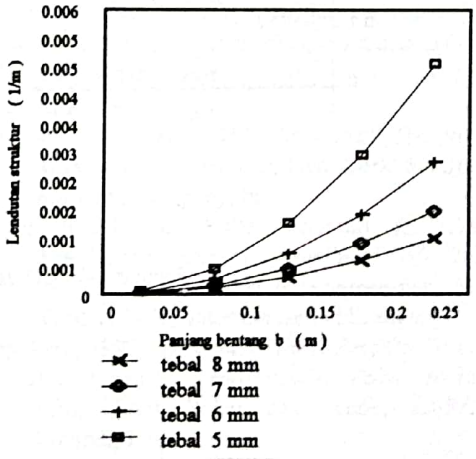
Selanjutnya gaya tangensial ini diolah berdasarkan persamaan-persamaan di atas, maka diperoleh harga gaya geser, tegangan geser, lendutan sirip, dan rasio antara lendutan dan panjang bentang sirip roket RX-150-LPN, seperti terlihat dalam grafik (Gambar 3-2, 3-3, 3-4, dan Gambar 3-5).



Gambar 3-2 : Gaya geser struktur sirip roket RX-150-LPN pada titik 1 s/d 10



Gambar 3-3 : Tegangan geser sirip roket RX-150-LPN

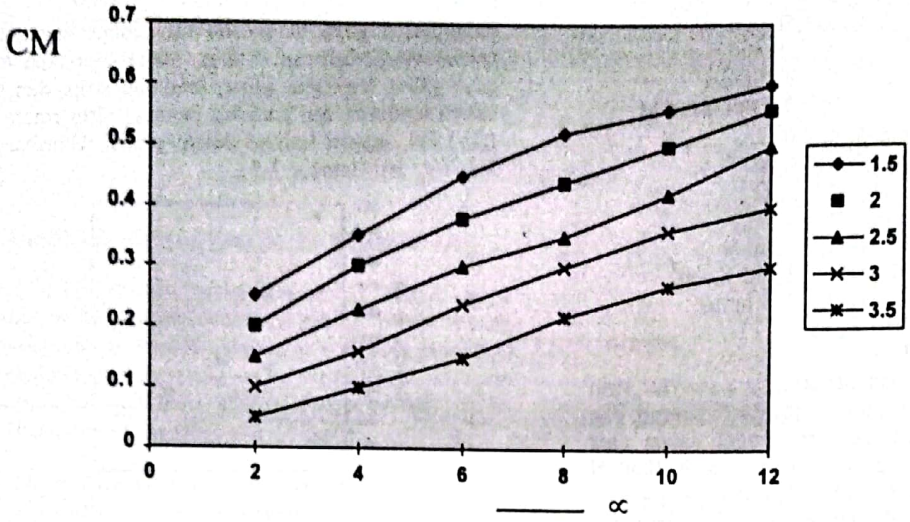


Gambar 3-4 : Lendutan struktur sirip roket RX-150-LPN

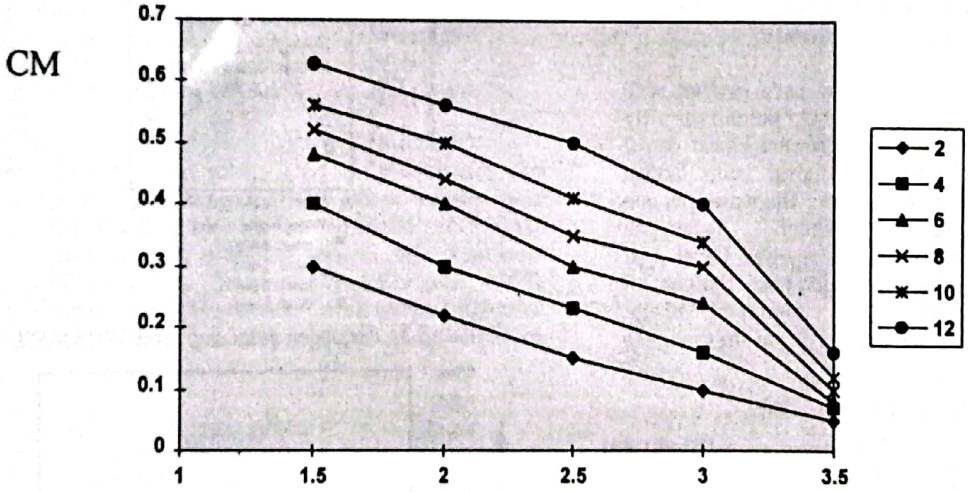
Dipindai dengan CamScanner

Tabel 4-2 : KOEFISIEN GAYA HAMBAT

M \ α	2	4	6	8	10	12
1.5	0.25	0.35	0.40	0.52	0.56	0.60
2	0.20	0.30	0.35	0.44	0.50	0.56
2.5	0.15	0.23	0.38	0.35	0.42	0.50
3	0.1	0.16	0.24	0.30	0.36	0.40
3.5	0.05	0.07	0.08	0.1	0.12	0.16



Gambar 4-3 : Curva CD vs ∝



Gambar 4-4 : CD vs bil Mach (M)

Dipindai dengan CamScanner

4 PEMBAHASAN

Seperti telah diketahui bahwa gaya tangensial dan aksial yang berasal dari gaya aerodinamika dapat mempengaruhi kalayakan struktur sirip roket RX-150-LPN. Pengaruh gaya tangensial berupa gaya geser, tegangan geser dan lendutan struktur sirip. Sedangkan gaya aksial dapat menyebabkan tegangan lentur dan lendutan struktur. Telah dihitung beban-beban tersebut, agar diketahui berapa besar pengaruhnya terhadap tebal struktur 8 mm sesuai ukuran sirip roket RX 150-LPN. Di samping itu juga dihitung pembebanan untuk tebal yang lain, yaitu 7 mm, 6 mm dan 5 mm, sebagai tebal alternatif, hasilnya seperti terlihat pada Gambar 3-2 sampai 3-11. Dari gambar tersebut terlihat gaya tangensial menimbulkan beban jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan beban yang ditimbulkan oleh gaya aksial. Gaya tangensial mengakibatkan tegangan geser maksimal $8{,}643 \times 10^{5}$ Nm^{-2} untuk tebal struktur 5 mm, sedangkan gaya aksial hanya menimbulkan tegangan lentur sebesar $4{,}209 \times 10^{4}$ Nm^{-2}. Karena pengaruh gaya aksial ini terlalu kecil jika dibandingkan dengan pengaruh gaya aksial, maka pembahasan diarahkan hanya pada pengaruh gaya tangensial terhadap struktur sirip roket.

Posisi gaya tangensial pada struktur sirip roket RX-150-LPN, untuk titik 1 sampai dengan 10 seperti Gambar 3-1 akan menimbulkan gaya geser pada masing-masing titik. Dari Gambar 3-2 terlihat perilaku gaya geser ini. Posisi 1 sampai dengan 5 simetri dengan posisi 6 sampai dengan 10, maka hanya dianalisis untuk posisi 1 sampai dengan 5 saja. Pada posisi ini gaya geser bergerak membesar dari posisi 1 ke posisi 2, kemudian menurun sampai ke posisi 5. Perilaku ini dapat diteliti dengan melihat beberapa parameter yaitu : gaya tangensial (Fz_t), jari-jari posisi gaya (r) dan sudutnya (φ) terhadap pangkal struktur sirip. Dari data kondisi terbang diketahui bahwa gaya tangensial total telah ditetapkan yaitu 3000 N, maka sebagai variabelnya adalah sudut dan jari-jari posisi gaya tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua variabel ini dapat menentukan kenaikan dan penurunan gaya geser masing-masing titik pada struktur sirip. Dari persamaan 2-3 terlihat bahwa hubungan antara gaya geser dan hasil bagi $\cos^3\varphi$ dengan jari-jari (r) adalah berbanding lurus, hal ini berarti bahwa gaya geser akan naik jika hasil bagi tersebut naik dan akan menurun jika hasil baginya menurun. Sehingga dapat dimengerti jika perilaku gaya geser untuk posisi titik 1 sampai 5 seperti pada Gambar 3-2, yaitu karena pada posisi titik 2 nilai gaya gesernya lebih besar dari pada titik-titik lain. Sedangkan gaya geser untuk posisi 11 sampai dengan 15 bergerak menurun dari posisi 11 sampai dengan 15, juga seperti dalam Gambar 3-2 tersebut. Hal ini dapat dimengerti karena hasil bagi antara $\cos^3\varphi$ dengan jari-jari (r) pada posisi 11 lebih besar dari pada posisi yang lain, sehingga menghasilkan gaya geser yang lebih besar, dan makin ke ujung bentang sirip gaya ini semakin kecil. Oleh karena itu, perbedaan hasil bagi $\cos^3\varphi$ dengan jari-jari (r) untuk kedua posisi di atas, akan menimbulkan kecenderungan grafik gaya geser yang berbeda. Kecenderungan perilaku gaya geser ini selanjutnya akan diikuti oleh tegangan geser yang diterima oleh struktur sirip roket, sebagai konsekuensi karena gaya geser berbanding lurus dengan tegangan geser seperti dalam persamaan 2-4.

Tegangan geser masing-masing posisi pada struktur sirip terlihat pada Gambar 3-3 dan Gambar 3-6. Grafik dalam gambar tersebut dapat digunakan sebagai acuan kelayakan struktur sirip, yaitu dengan membandingkan terhadap kekuatan tarik bahan struktur, dalam hal ini bahan yang digunakan adalah stainsless steel. Bahan ini mempunyai kekuatan tarik sebesar $58{,}6 \times 10^{7}$ Nm^{-2}. Oleh karena itu jika dibandingkan dengan tegangan geser yang terbesar yaitu hanya $8{,}643 \times 10^{5}$ Nm^{-2} untuk tebal 5 mm pada posisi titik 11 dan 16, maka dapat dikatakan bahwa struktur ini mampu menerima tegangan geser yang dimaksud. Namun demikian agar lebih meyakinkan, maka di samping kelayakan struktur kerena tegangan geser perlu juga diselidiki kelayakan akibat beban lendutan pada struktur sirip roket RX150-LPN.

Lendutan struktur sirip roket karena gaya tangensial telah dinyatakan dalam persamaan 2-5, yakni ditentukan oleh gaya geser Q, lebar struktur b dan ketegaran struktur D. Gambar 3-4 dan 3-7 memberikan informasi tentang ini. Sedangkan rasio antara lendutan dan panjang bentang struktur sirip tercantum dalam Gambar 3-5 dan 3-8. Lendutan terbesar tercapai pada posisi titik 5 dan 10 sebesar 0,005 m untuk tebal struktur 5 mm dengan rasio lendutan tertinggi yang diijinkan 2 % dari panjang bentang, maka untuk memperkuat keamanan struktur sirip, dipilih struktur sirip dari pelat stainsless steel, minimal tebal 6 mm, karena rasio lendutan untuk 5 mm terlalu riskan mendekati 2 %.

5 KESIMPULAN

Sesuai dengan uraian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Pengaruh gaya tangensial jauh lebih besar dari pada gaya aksial terhadap struktur sirip roket RX150-LPN.
- Struktur sirip yang diteliti mampu menerima beban tangensial dan aksial.
- Tebal alternatif struktur sirip roket minimal 6 mm terbuat dari stainsless steel.

DAFTAR PUSTAKA

Abraham Lewis H., 1962, *Structural Design of Missiles and Spacecraft*, New York, McGraw-hill Book Company, Inc.

Faupel Joseph H., Fisher Franklin E., 1980, *Engineering Design, Asynthesis of Stress Analysis And Materials Engineering*, New York, A Wiley Interscience Publication.

Grup Aero, 1992, *Dokumen Teknik Prediksi Teoritis Karakteristik Aero-dinamika Roket RX150-LPN*, Pusat Roket dan satelit, LAPAN, Rumpin, Bogor.

Timoshenko, Swoinowsky, Krieger, 1988, *Teori Pelat dan Cangkang, Terjemahan Hindarko*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Dipindai dengan CamScanner