

# Analisa Tegangan Tabung Motor Roket Kaliber 70 mm Dengan Variasi Ketebalan

**Joko Suprihanto**

<sup>1,2</sup> Fakultas Teknik Penerbangan , Universitas Nurtanio, Bandung, Indonesia

Email : jokosuprihanto@unnur.ac.id

**Abstrak.** Motor roket merupakan bagian dari suatu roket yang berfungsi sebagai tempat terbakarnya bahan bakar (propellant). Akibat terbakarnya propellant tersebut tekanan di dalam tabung motor roket akan naik dan mengakibatkan gaya dorong bagi roket. Selain itu temperatur Akibat terbakarnya propellant tabung motor roket akan menerima beban akibat tingginya temperatur dan tekanan yang terjadi di dalam tabung motor roket. Dalam penelitian ini hanya akan dilakukan analisis tegangan yang terjadi pada tabung motor roket berdiameter 70 mm akibat adanya tekanan yang terjadi di dalam tabung motor roket tersebut. Tebal tabung yang dianalisis adalah 1,50 mm, 1,75 mm dan 2,00 mm, sedangkan tekanan di dalam tabung motor roket akan divariasikan sedemikian hingga batas tegangan yield dan atau maksimum material yang digunakan untuk tabung motor roket mulai 1000 psi. Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium Alloy Al2014-T6. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat akan diketahui tebal tabung motor roket yang dibutuhkan dalam menahan tekanan di dalam tabung motor roket. Sebagai hasil akhir, diperoleh bahwa untuk ketebalan 1,50 mm, 1,75 mm, dan 2,00 mm diperoleh tekanan maksimum yang bisa ditahan oleh tabung dengan material AL 2014-T6 secara berturut-turut adalah 1800 psi, 2100 psi dan 2400 psi.

**Kata kunci:** ketebalan tegangan tekanan tabung roket

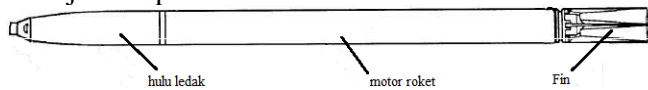
**Abstract.** A rocket motor is a part of a rocket that functions as a place to burn fuel (propellant). As a result of the burning of the propellant, the pressure in the rocket motor tube will increase and result in a thrust force for the rocket. Apart from that, the temperature due to the burning of the rocket motor propellant tube will receive a load due to the high temperature and pressure that occurs inside the rocket motor tube. In this research, we will only analyze the stress that occurs in the 70 mm diameter rocket motor tube due to the pressure that occurs in the rocket motor tube. The tube thicknesses described are 1.50 mm, 1.75 mm and 2.00 mm, while the pressure in the rocket motor tube will be varied in such a way that the maximum yield stress limit and/or material used for the rocket motor tube starts at 1000 psi. The material used in this research is Aluminum Alloy Al2014-T6. Based on the results of these calculations, it can be seen how thick the rocket motor tube is required to withstand the pressure inside the rocket motor tube. As a final result, it was found that for thicknesses of 1.50 mm, 1.75 mm, and 2.00 mm, the maximum pressure that can be withstood by a tube with AL 2014-T6 material is 1800 psi, 2100 psi and 2400 psi, respectively.

Key words: rocket tube tension thickness

# 1 Pendahuluan

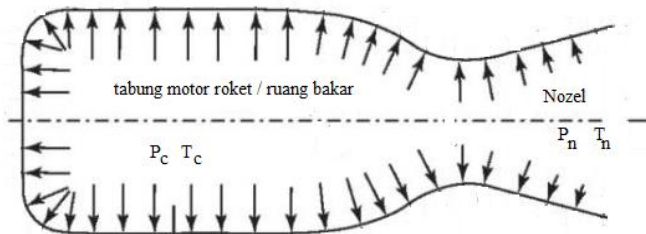
## 1.1 Latar Belakang

Sebagaimana sudah diketahui, secara umum, roket bebas (*unguided*) terdiri atas hulu ledak (*warhead*), motor roket (*rocket motor*) dan sirip (*fin*). Komponen-komponen motor roket untuk roket bebas (*unguided*) ini secara garis besar terdiri atas bahan bakar (*propellant*), tabung motor roket dan *nozzle*. Tabung motor roket (*rocket motor tube*) merupakan bagian dari roket, dimana di dalam tabung tersebut merupakan tempat terjadinya pembakaran yang selanjutnya akan menghasilkan gaya dorong (*thrust*) roket melalui *nozzle*. Bagian-bagian motor roket ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Roket 2.75-inch LSFFAR (Low-spin folding-fin aircraft rocket, smoke configuration) [1]

Pada saat terjadi pembakaran di dalam tabung motor roket, akan mengakibatkan adanya kenaikan temperatur dan tekanan di dalam tabung motor roket tersebut. Tekanan dan temperatur tersebut harus mampu ditahan oleh tabung motor roket. Beban tekanan dan temperatur di dalam tabung motor roket tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Beban tekanan dan temperatur di dalam tabung motor roket dan nozel

## 1.2. Tujuan penelitian

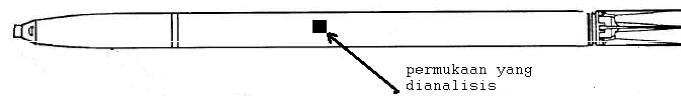
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji kemampuan tabung motor roket kaliber 70 mm akibat tekanan yang terjadi di dalam tabung motor roket untuk beberapa macam ketebalan dinding tabung motor roket dengan beberapa variasi ketebalan tabungnya dan untuk material *AL2014-T6*.

## 1.3. Kondisi batas

Penelitian ini menghitung tegangan yang terjadi pada tabung roket motor yang berdiameter luar 70 mm. Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Material tabung bersifat isotrop, yaitu material yang memiliki sifat mekanik sama dalam segala arah.[2]
- Material tabung yang dianalisis adalah *Al 2014-T6*.
- Tabung motor roket memenuhi persyaratan sebagai tabung bertekanan berdinding tipis (*pressure vessel*).
- Beban yang diterapkan pada tabung motor roket hanya beban tekanan internal, yang besarnya divariasikan sedemikian hingga sampai nilai maksimumnya diperoleh.
- Pengaruh temperatur terhadap tabung motor roket dalam penelitian ini diabaikan.
- Diameter luar tabung motor roket 70 mm.
- Tebal tabung motor roket yang dianalisis dalam penelitian ini masing-masing 1,50 mm, 1,75 mm, dan 2,00 mm.
- Kriteria kegagalan yang digunakan adalah kriteria berdasarkan Teori Tegangan Geser Maksimum (*Maximum Shear Stress Theory*).

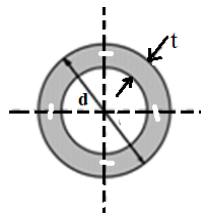
- Faktor keselamatan (*factor of safety*) dihitung berdasarkan nilai tegangan geser *yield* material yang digunakan.
- Tegangan pada bagian dinding tabung motor roket yang diteliti hanya pada bagian permukaan silinder, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Bagian tabung motor roket yang dianalisis

## 2. Penampang tabung motor roket.

Bagian kulit tabung motor roket yang diteliti sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, geometrinya ditunjukkan pada Gambar 4.

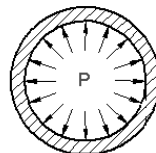


Gambar 4 Bagian tabung motor roket yang dianalisis

Diameter luar tabung motor roket yang ditunjukkan dengan notasi  $d$  adalah 70 mm. Tebal tabung motor roket yang dianalisis dalam penelitian ini divariasikan masing-masing sebesar 1,50 mm, 1,75 mm, dan 2,00 mm, sebagaimana disebutkan dalam batasan masalah.

## 3. Beban Tekanan di Dalam Tabung Motor Roket

Beban yang bekerja pada tabung motor roket dalam penelitian ini hanya beban tekanan internal di tabung motor roket. Pada penelitian ini, beban tekanan internal yang akan diterapkan pada tabung motor roket ini divariasikan mulai 1000 psia hingga tercapai tekanan maksimum yang bisa ditahannya (tabung rusak). Kerusakan tabung ini bisa dilihat berdasarkan hasil perhitungan *factor of safety*-nya. Beban tekanan internal yang dialami tabung motor roket ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Penampang A-A tabung motor roket

## 4. Tinjauan pustaka

### 4.1 Material isotropik

Definisi material isotropik adalah material yang memiliki sifat *thermal* dan sifat mekanik (*mechanical properties*) yang sama ke semua arah. Sifat mekanik ini antara lain adalah tegangan maksimum (*ultimate stress*), tegangan mulur (*yield stress*), Untuk material isotropik ini, hubungan tegangan-regangan (*stress - strain*) berlaku pada semua arah.

### 4.2 Material Al 2014-T6

Komposisi utama Al2014 adalah aluminum. Secara rinci, unsur-unsur material tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Komposisi material Al 2014 [3]

Unsur, %	Al 2014-T6
Si	0,50 – 1,20
Fe	0,70
Cu	3,90 – 5,00
Mn	0,40 – 1,20
Mg	0,20 – 0,80
Cr	0,10
Zn	0,25
Ti	0,15
Unspecified	0,05 (each) 0,15 (total)

Untuk sifat mekanik material Al 2014 T-6 ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Sifat mekanik AL2014-T6 [3]

Sifat mekanik	Al 2014-T6
Tegangan mulur ( <i>yield stress</i> ), $\sigma_y$ (Mpa)	415
Tegangan maksimum tarik ( <i>ultimate tension stress</i> ), $\sigma_u$ (Mpa)	485
Modulus Elastisitas, GPa	73
Kekerasan ( <i>Hardness</i> ), HB	135

### 4.3 Tabung silinder bertekanan berdinding tipis (*thin-walled pressure vessel*)

Pada dasarnya, semua tabung motor roket (*rocket motor tube*) harus mampu menahan beban tekanan yang terjadi di dalam tabung tersebut. Tekanan di dalam tabung ini terjadi akibat terbakarnya *propellant* di dalam tabung motor roket tersebut. Suatu tabung yang bertekanan dapat dikategorikan sebagai suatu tabung bertekanan yang berdinding tipis (*thin-walled pressure vessel*) jika perbandingan ketebalan dinding tabung terhadap jari-jari dalam tabung kurang dari atau sama dengan 10% [4], atau dituliskan dengan persamaan (1) berikut.

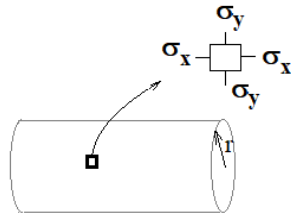
$$\frac{t}{r_i} \leq 0,1 \quad (4.1)$$

dengan :

t : ketebalan kulit tabung, mm

$r_i$  : jari-jari dalam tabung, mm

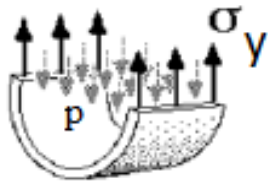
Tabung bertekanan yang berdinding tipis ini merupakan suatu “*plane stress*”, dimana pada kondisi ini nilai tegangan gesernya berharga nol, dengan demikian komponen tegangan yang terjadi pada dinding tabung bertekanan berdinding tipis ini hanya *hoop stress* ( $\sigma_y$ ) dan *longitudinal stress* ( $\sigma_x$ ). *Hoop stress* ( $\sigma_y$ ) dan *longitudinal stress* ( $\sigma_x$ ) dalam *thin-wall pressure vessel* ini merupakan tegangan utama (*principal stresses*). Elemen tegangan pada permukaan kulit tabung ini ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Tegangan pada tabung bertekanan (*pressure vessel*)

-Tegangan radial,  $\sigma_y$  (*hoop stress*), dinyatakan dengan persamaan berikut [5]:

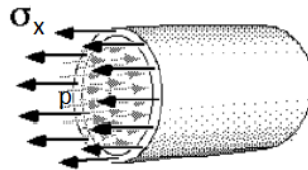
$$\sigma_y = \frac{pr}{t} \quad (4.2)$$



Gambar 7 Tegangan radial (*hoop stress*,  $\sigma_y$ ) dan tekanan ( $p$ ) pada tabung silinder

-Tegangan longitudinal,  $\sigma_x$  (*longitudinal stress*) dinyatakan dengan persamaan berikut [5] :

$$\sigma_x = \frac{pr}{2t} \quad (4.3)$$



Gambar 8 Tegangan longitudinal ( $\sigma_x$ ) dan tekanan ( $p$ ) pada tabung silinder dengan :

$P$  : tekanan tabung (*internal pressure*),  $N/mm^2$

$r$  : radius dalam (*internal radius*),  $mm$

$t$  : tebal dinding silinder (*thickness*),  $mm$

#### 4.4 Tegangan utama (*Principal stress*) dan tegangan geser yang terjadi

Untuk mendapatkan besarnya tegangan geser yang terjadi pada tabung pada setiap pembebanan tekanan yang diberikan, terlebih dahulu dihitung tegangan utama yang terjadi dengan menggunakan persamaan (4.4) dan persamaan (4.5) berikut.

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}} \quad (4.4)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}} \quad (4.5)$$

Untuk kondisi *plane stress* pada tabung bertekanan berdinding tipis, harga  $\tau_{xy}$  adalah nol. Hal ini sebagaimana dijelaskan di muka, bahwa tegangan yang terjadi hanya tegangan longitudinal dan tegangan radial (*hoop stress*).

Dengan demikian, persamaan (4.4) menjadi :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_1 = \sigma_x \quad (4.6)$$

Selanjutnya persamaan (4.5) menjadi :

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_2 = \sigma_y \quad (4.7)$$

#### 4.5 Kriteria Kegagalan Tegangan Geser Maksimum (*Maximum Shear Stress Theory*)

Kriteria kegagalan ini adalah suatu kriteria untuk memprediksi kegagalan suatu struktur yang diakibatkan oleh beban yang diterima. Secara sederhana dikatakan bahwa jika kriteria kegagalan tersebut terpenuhi, maka tidak akan terjadi kerusakan (kegagalan) pada komponen yang dimaksud. Dalam penelitian ini pendekatan kriteria kegagalannya dilakukan dengan menggunakan teori tegangan geser maksimum (*maximum shear stress*). Kriteria ini menyatakan bahwa mulur (*yield*) akan terjadi jika tegangan geser dalam suatu material mencapai nilai tegangan geser kritisnya. Nilai kritis ini merupakan nilai tegangan geser maksimum pada saat terjadi mulur (*yield*) dalam uji tarik sederhana (*simple tension test*). Tegangan geser maksimum ini dirumuskan dengan :

$$\tau_{\max} = 0.5\sigma_{yp} \quad (4.8)$$

dengan :

$\tau_{\max}$  : tegangan geser maksimum material, N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{yp}$  : Tegangan mulur (*yield*) material, N/mm<sup>2</sup>

#### 4.6 Faktor Keselamatan (Factor of Safety)

Selanjutnya, factor keselamatan, FS ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$FS = \frac{0.5\sigma_{yp}}{\tau} \quad (4.9)$$

Berdasarkan persamaan (4.8), maka persamaan (9) bisa dituliskan sebagai berikut :

$$FS = \frac{\tau_{\max}}{\tau} \quad (4.10)$$

dengan :

FS : faktor keselamatan

$\sigma_{yp}$  : tegangan luluh (mulur, *yield stress*), N/mm<sup>2</sup>

$\tau$  : tegangan geser yang terjadi, N/mm<sup>2</sup>

$\tau_{\max}$  : tegangan geser maksimum material, N/mm<sup>2</sup>

Tegangan geser pada persamaan (4.10) dihitung dengan menggunakan persamaan (4.11) berikut :

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2} \quad (4.11)$$

#### 4.7 Batas Keamanan (Margin of Safety)

Dalam struktur, batas keamanan ini merupakan suatu angka yang menunjukkan kemampuan kekuatan yang tersisa pada suatu struktur. Selanjutnya, batas keselamatan (MS) ini dirumuskan dengan persamaan (4.12) berikut:

$$MS = FS - 1 \quad (4.12)$$

### 5. Hasil perhitungan

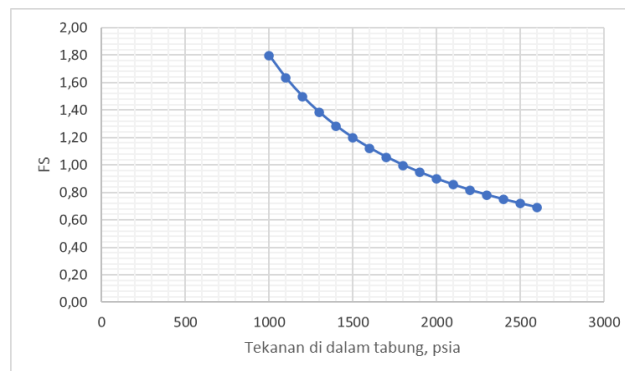
Perhitungan kekuatan tabung motor roket ini dilakukan dengan pemberian tekanan mulai dari 1000 psia dan secara bertahap dengan kenaikan tekanan 100 psi.

#### 5.1 Hasil perhitungan untuk ketebalan tabung 1,50 mm

Hasil perhitungan besarnya tegangan geser yang terjadi untuk setiap beban tekanan yang diterapkan di dalam tabung motor roket untuk ketebalan  $t=1,50$  mm ditunjukkan pada Tabel 3 dan pada Gambar 9.

Tabel 3 Hasil perhitungan tegangan dan *factor of safety* pada dinding tabung motor roket 70 mm,  $t= 1,50$  mm

P		$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma$	FS
Psia	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
1000	6,9	154,0	77,0	115,5	1,80
1100	7,6	169,4	84,7	127,0	1,63
1200	8,3	184,8	92,4	138,6	1,50
1300	9,0	200,2	100,1	150,1	1,38
1400	9,7	215,6	107,8	161,7	1,28
1500	10,3	231,0	115,5	173,2	1,20
1600	11,0	246,4	123,2	184,8	1,12
1700	11,7	261,8	130,9	196,3	1,06
1800	12,4	277,2	138,6	207,9	1,00
1900	13,1	292,6	146,3	219,4	0,95
2000	13,8	308,0	154,0	231,0	0,90



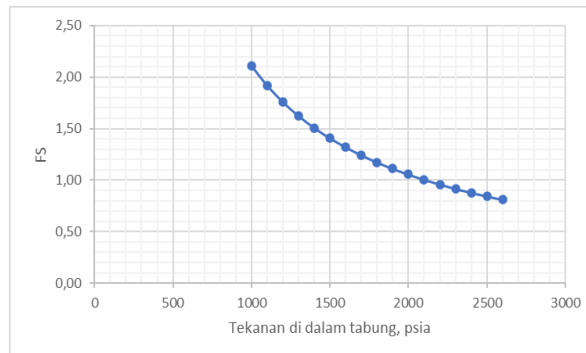
Grafik 9 Pengaruh tekanan di dalam tabung terhadap nilai FS untuk  $t=1,50$  mm

### 5.2 Hasil perhitungan untuk ketebalan tabung 1,75 mm

Hasil perhitungan besarnya tegangan geser yang terjadi untuk setiap beban tekanan yang diterapkan di dalam tabung motor roket untuk ketebalan  $t=1,75$  mm ditunjukkan pada Tabel 4 dan pada Gambar 10.

Tabel 4 Hasil perhitungan tegangan dan *factor of safety* pada dinding tabung motor roket 70 mm,  $t= 1,75$  mm

P		$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma$	FS
psia	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
1000	6,9	131,0	65,5	98,3	2,11
1100	7,6	144,1	72,1	108,1	1,92
1200	8,3	157,2	78,6	117,9	1,76
1300	9,0	170,3	85,2	127,7	1,62
1400	9,7	183,4	91,7	137,6	1,51
1500	10,3	196,5	98,3	147,4	1,41
1600	11,0	209,6	104,8	157,2	1,32
1700	11,7	222,7	111,4	167,0	1,24
1800	12,4	235,8	117,9	176,9	1,17
1900	13,1	248,9	124,5	186,7	1,11
2000	13,8	262,0	131,0	196,5	1,06
2100	14,5	275,1	137,6	206,3	1,01
2200	15,2	288,2	144,1	216,2	0,96
2300	15,9	301,3	150,7	226,0	0,92



Gambar 10 Pengaruh tekanan di dalam tabung terhadap nilai FS untuk  $t=1,75$  mm

### 5.3 Hasil perhitungan untuk ketebalan tabung 2,00 mm

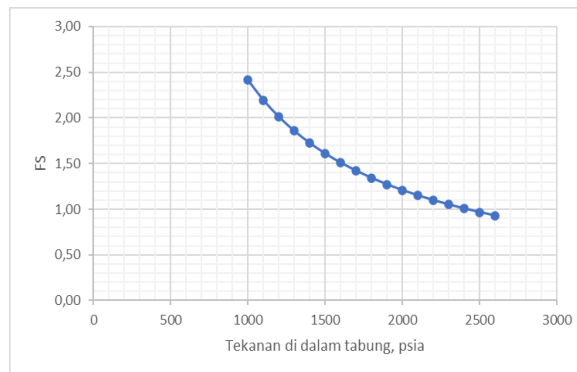
Hasil perhitungan besarnya tegangan geser yang terjadi untuk setiap beban tekanan yang diterapkan di dalam tabung motor roket untuk ketebalan  $t=2,00$  mm ditunjukkan pada Tabel 5 dan pada Gambar 12.

Tabel 5 Hasil perhitungan tegangan dan *factor of safety* pada dinding tabung motor roket 70 mm,  $t= 2,00$  mm

p	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma$	FS	
Psia	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		
1000	6,9	114,63	57,31	85,97	2,41
1100	7,6	126,09	63,04	94,57	2,19
1200	8,3	137,55	68,78	103,16	2,01



1300	9,0	149,01	74,51	111,76	1,86
1400	9,7	160,48	80,24	120,36	1,72
1500	10,3	171,94	85,97	128,95	1,61
1600	11,0	183,40	91,70	137,55	1,51
1700	11,7	194,86	97,43	146,15	1,42
1800	12,4	206,33	103,16	154,74	1,34
1900	13,1	217,79	108,89	163,34	1,27
2000	13,8	229,25	114,63	171,94	1,21
2100	14,5	240,71	120,36	180,53	1,15
2200	15,2	252,18	126,09	189,13	1,10
2300	15,9	263,64	131,82	197,73	1,05
2400	16,5	275,10	137,55	206,33	1,01
2500	17,2	286,56	143,28	214,92	0,97
2600	17,9	298,03	149,01	223,52	0,93
2700	18,6	309,49	154,74	232,12	0,89



Gambar 11 Pengaruh tekanan di dalam tabung terhadap nilai FS untuk  $t=2,00$  mm

## 6. Analisis

### 6.1 Analisis untuk ketebalan tabung 1,50 mm

Berdasarkan hasil perhitungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, ditunjukkan bahwa nilai FS sebesar 1,00 terjadi pada saat diberikan tekanan di dalam tabung sebesar 1800 psia ( $12,4 \text{ N/mm}^2$ ). Hal ini menunjukkan bahwa untuk tebal tabung 1,50 mm, berdasarkan teori tegangan geser maksimum, tabung motor roket ini mampu menahan tekanan hingga 1800 psia.

### 6.2 Analisis untuk ketebalan tabung 1,75 mm

Berdasarkan hasil perhitungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4, ditunjukkan bahwa nilai FS sebesar 1,00 terjadi pada saat diberikan tekanan di dalam tabung sebesar 2100 psia ( $14,5 \text{ N/mm}^2$ ). Nilai  $FS=1$  ini menunjukkan bahwa untuk tebal tabung 1,75 mm, berdasarkan teori tegangan geser maksimum, tabung motor roket ini mampu menahan tekanan hingga 2100 psia.

### 6.3 Analisis untuk ketebalan tabung 2,00 mm

Berdasarkan hasil perhitungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5, ditunjukkan bahwa nilai FS sebesar 1,00 terjadi pada saat diberikan tekanan di dalam tabung sebesar 2400 psia ( $16,5 \text{ N/mm}^2$ ). Hal ini menunjukkan bahwa untuk tebal tabung 2,00 mm, berdasarkan teori tegangan geser maksimum, tabung motor roket ini mampu menahan tekanan hingga 2400 psia.

## 7. Kesimpulan

Berdasarkan analisis sebagaimana disampaikan, dapat disimpulkan bahwa

- a. semakin tebal kulit tabung motor roket akan memberikan ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban tekanan yang diberikan di dalam tabung motor roket.
- b. Untuk tabung motor roket dengan diameter luar 70 mm dengan ketebalan kulit tabung 1,50 mm, tekanan yang bisa ditahan akibat pembakaran propellant di dalamnya adalah 1800 psia
- c. Untuk tabung motor roket dengan diameter luar 70 mm dengan ketebalan kulit tabung 1,75 mm, tekanan yang bisa ditahan akibat pembakaran propellant di dalamnya adalah 2100 psia
- d. Untuk tabung motor roket dengan diameter luar 70 mm dengan ketebalan kulit tabung 2,00 mm, tekanan yang bisa ditahan akibat pembakaran propellant di dalamnya adalah 2400 psia

## 8. Referensi

- [1] Dolgonas, G. & H. A. Krayenbuhl, 1969, *2.75-IN. FOLDING FIN AIRCRAFT ROCKET (U)*, Volume 1, California.
- [2] Callister, William D., Jr and David G. Rethwisch, 2018, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 10<sup>th</sup> ed., USA : John Wiley & Sons, Inc.
- [3] ASM International Handbook Committee, 1992, *ASM HANDBOOK*, Vol. 2, Properties And Selection : Non ferrous Alloys and Special – Purpose Materials.
- [4] Masikh, Qayssar Saeed, Mohammad Tariq dan Prabhat Kumar Sinha, 2014, *Analysis Of A Thin and Thick Walled Pressure Vessel For Different Materials*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), ISSN 0976 – 6340(Print), ISSN 0976 – 6359(Online), Volume 5, Issue 10, October (2014).
- [5] Ibrahim, Ahmed., Yeong Ryu. dan Mir Saidpour, 2015, *Stress Analysis of Thin-Walled Pressure Vessels*, Modern Mechanical Engineering, **5**, 1-9.
- [6] Spott, M.F., *Design of Machine Elements*, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, Inc, Englewood Cliff, N.J
- [7] Dupen, Barry, 2016, *Applied Strength of Materials for Engineering Technology*, 10 ed. Purdue University.
- [8] NAVWEPS OP 2210, 1960, *Aircraft Rockets*, Published By Direction Of The Chief Of The Bureau Of Naval Weapon.