

SELEKSI PEMILIHAN MATERIAL UNTUK TABUNG ROKET RX 420

Elvis A. Sumaraw

Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN
e-mail : elvis.sumaraw@yahoo.com

ABSTRACT

A Calculation to select the material being used for RX 420 rocket has been conducted. The selection is applied to 3 kinds of tube material i.e. SS 17-7 PH steel, ASTM A312 AISI TP304L steel and AISI 4130 steel. By inputting data of tensile strength material, strain acting on the tube, tube diameter and tube length; the size of the tube can be calculated. The thicker tube and the lightest tube are then selected to be used. From the calculation result of SS 17-7 PH steel material, the tube with the thick of 1,8 mm (safety factor, $k=2$) with the tube weight of 85,458 kg are the most convenient materials applied; due to the thicker (1,8mm) and the lightest (85,458 kg) with the tensile strength of 900 MPa. If ASTM A312 AISI TP304L steel material is used, then the tube thick proposed is 2,8 mm, with the tube weight of 131,7 kg. If AISI 4130 steel material is used, then the tube proposed is 3 mm, with the tube weight of 142,4 kg.

Key word: *Material, Tube, Rocket*

ABSTRAK

Telah dilakukan perhitungan untuk memilih material yang akan digunakan untuk roket RX 420. Seleksi dilakukan terhadap 3 macam material tabung yaitu baja SS 17-7 PH, baja ASTM A312 AISI TP304L, baja AISI 4130. Dengan masukan data kuat tarik material, tekanan yang dialami tabung, diameter tabung dan panjang tabung maka dapat dihitung tebal tabung dan berat tabung roket yang dibutuhkan. Tebal tabung yang paling tipis dan ringan yang dipilih untuk digunakan.

Dari hasil perhitungan material baja SS 17-7 PH dengan tebal tabung disarankan 1,8 mm (faktor keamanan= $k=2$) dan berat tabung 85,458 kg adalah material yang paling cocok untuk digunakan karena mempunyai tebal yang paling tipis (1,8mm), ringan (85,458kg) dengan kuat tarik material 900 Mpa. Bila digunakan material baja ASTM A312 AISI TP 304L maka tebal tabung yang disarankan 2,8 mm dengan berat tabung 131,7 kg. Bila digunakan material baja AISI 4130 maka tebal tabung yang disarankan 3 mm dengan berat tabung 142,4 kg.

Kata kunci: *Material, Tabung, Roket*

1 PENDAHULUAN

Roket RX 420 adalah bagian dari Roket Pengorbit Satelit (RPS) yang direncanakan akan dibuat dengan 4 tingkat, yaitu tiga tingkat roket RX 420 dan satu tingkat roket RX 320. Roket RX 320 telah lebih dahulu diuji terbang di Pamengpeuk (Garut) pada tanggal 19 Mei 2008 (Media Dirgantara, 2008).

Roket RX 420 rencananya akan menjadi roket pendorong RPS.

Roket RX 420 telah sukses diuji terbang di Pamengpeuk pada tanggal 2 Juli 2009 (Media Drgantara, 2009). Dengan sudut elevasi 70° , Roket RX 420 dapat mencapai ketinggian 53 km dan jarak tempuh 101 km. Roket ini mempunyai kecepatan 4,4 bilangan Mach.

Struktur motor roket RX 420 merupakan salah satu bagian yang paling penting pada roket, berfungsi sebagai ruang bakar yang mengubah propelan menjadi energi yang menghasilkan tekanan tinggi yang akan mendorong roket. Untuk memenuhi operasi kondisi kerja tersebut maka struktur roket harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Stabil pada suhu yang cukup tinggi tanpa mengakibatkan perubahan bentuk tabung roket.
- Mampu menahan tekanan kerja yang cukup tinggi yaitu ~ 40 atm.
- Harus ringan sehingga energi yang dibutuhkan untuk mendorong roket dapat digunakan seoptimal mungkin.
- Mudah dipabrikasi (*machining*).

Pemilihan material tabung RX 420 harus mempertimbangkan hal-hal yang tersebut di atas, sebagai alternatif dapat dipilih 3 material yang ringan dan

kuat yaitu: Paduan baja SS 17-7 PH, baja ASTM A312, baja AISI TP304L.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan material baja yang ringan, kuat, tahan terhadap tekanan tinggi dari pembakaran bahan bakar roket sehingga diperoleh ketinggian terbang roket RX 420 yang optimal.

2 ROKET RX 420

Roket RX 420 merupakan bagian dari roket RPS diameter 420 mm hasil rekayasa LAPAN yang menggunakan material tabung roket stainless steel SS 17-7PH. Roket ini merupakan roket terbesar yang pernah diterbangkan LAPAN. Roket ini nantinya merupakan bagian dari Roket Peluncur Satelit (RPS) yang rencananya akan diluncurkan pada tahun 2014. Motor roket ini menggunakan propelan HTPB (Hidroxy Terminated Poly Butadiene) sepanjang 4,5 m. Data lengkap roket RX 420 dapat dilihat pada Tabel 2-1.

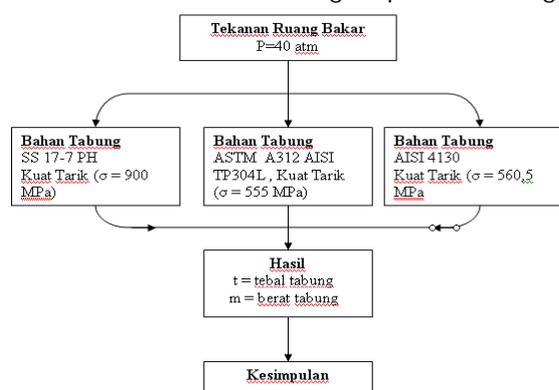
Tabel 2-1: SPESIFIKASI ROKET RX 420 (TIM REKAYASA ROKET, 2009)

No.	URAIAN	RX 420
1.	Misi	Acceptance test
2.	Panjang total	6200 mm
3.	Diameter luar roket	420 mm
4.	Berat total	1000 kg
5.	Berat propelan	535 kg
6.	Jenis propelan	Composite
7.	Grain propelan	Konfigurasi ganda
8.	Bahan tabung motor	SS 17-7 PH
9.	Thrust rata-rata	9625 kgf
10.	Tekanan ruang bakar rata-rata	40 atm
11.	Burning time	13 detik
12.	Prediksi ketinggian	97,9 km (elevasi 70°)
13.	Prediksi jarak jangkau	181,8 km (elevasi 70°)
14.	Mass ratio	-
15.	Payload	Processor 125 kg

Tebal tabung = 2,85 mm

3 METODOLOGI

Menghitung ketebalan dinding roket dengan masukan tekanan pembakaran sebesar 40 atm. Bahan tabung adalah baja SS 17-7 PH, baja ASTM A312, baja AISI TP 304L. Kemudian hasil perhitungan ditabelkan dengan tebal dan berat tabung yang dibutuhkan dihitung dan dianalisa. *Tebal tabung yang tipis dan berat tabung yang ringan* dipilih sebagai bahan tabung roket RX 420 Pada Gambar 3-1 diperlihatkan diagram alir perhitungan. Masukan data tekanan ruang bakar sebesar 40 atm dan kuat tarik bahan (σ) untuk masing-masing bahan 900 MPa untuk bahan SS 17-7 PH, 555 MPa untuk bahan ASTM A312 AISI TP304L, 560,5 MPa untuk bahan AISI 4130 maka tebal tabung dapat dihitung. Masukan data tebal tabung dan berat jenis (*density*) tabung masing-masing 8 gram/cm³ untuk bahan baja SS 17-7 PH, 7,93 gram/cm³ untuk bahan baja ASTM A312 AISI TP 304L, 7,93 gram/cm³ untuk bahan baja AISI 4130 maka berat tabung dapat dihitung.



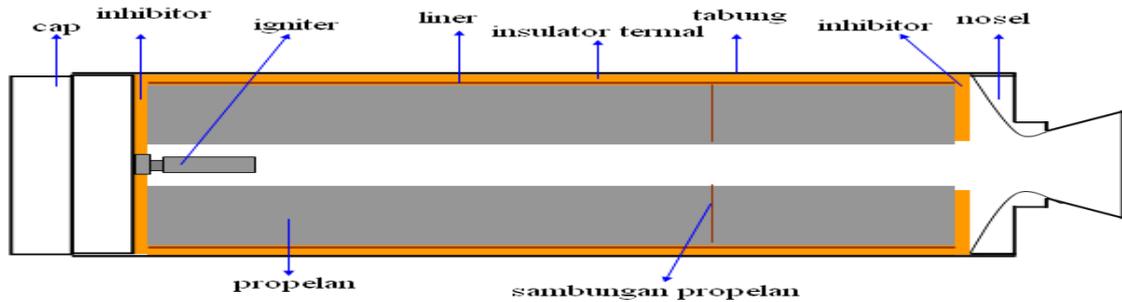
Gambar 3-1: Diagram alir perhitungan

4 TABUNG ROKET

Tabung roket harus mampu menahan gas panas hasil pembakaran roket pada temperatur berkisar antara 2000° s.d 4000°K (Davinias,1993). Tekanan ruang bakar diperoleh dari uji statik sebesar 40 atm (Tabel 3.1.). Dengan bahan tabung baja SS 17-7 PH. Guna menghindari terjadinya kerusakan pada struktur motor roket akibat pembakaran tersebut, bagian dalam dari dinding ruang bakar perlu diberi material penahan panas (protektor thermal). Sesuai dengan fungsinya material

tersebut terdiri dari 3 bagian yaitu: liner, inhibitor dan insulator termal. Liner berfungsi sebagai perekat antara propelan dengan insulator thermal. Insulator termal (fiber-carbon dan resin epoksi) berfungsi sebagai perekat liner dengan dinding tabung motor roket. Inhibitor digunakan untuk melapisi permukaan propelan yang tidak dikehendaki terjadinya pembakaran ujung cap dan nosel (Gambar 4-1). Berdasarkan pengukuran yang pernah dilakukan setelah uji statik temperatur dinding luar tabung < 100°C, hal ini berarti sistem protektor thermal berfungsi sangat baik namun tekanan tinggi perlu diperhitungkan (40atm).

Kekuatan material tergantung pada: komposisi material, proses pembuatan dan perlakuan panas yang diberikan setelah pembuatan. Karena itu ketiga material yang diseleksi perlu diketahui komposisi kimia yang dikandungnya. Tabel 4-1, Tabel 4-3, Tabel 4-5 memperlihatkan komposisi kimia yang dikandung baja SS 17-7 PH, baja AISI 4130 dan baja A312 TP304L. Tabel 4-1 memperlihatkan komposisi baja SS 17-7 PH, baja ini dikenal dengan baja Chrom Nickel termasuk dalam kelompok baja "high alloy steel" (baja paduan tinggi) karena jumlah unsur-unsur pemuat diatas 8%. Kode PH di belakang SS 17-7 mengandung arti baja ini dikeraskan dengan perlakuan panas *precipitat hardening*. Tabel 4-3 memperlihatkan komposisi kandungan baja AISI 4130, baja ini dikenal dengan baja Chrom-Molybden termasuk dalam kelompok baja karbon rendah (*mild steel/low carbon steel*). Tabel 4.5 memperlihatkan komposisi kandungan baja A312 TP304L, baja ini dikenal dengan baja paduan tinggi (*high alloy steel*) dengan unsur pemuat utama *Chrom* dan *Nickel*. Tabel 4-2, Tabel 4-4, Tabel 4-6 memperlihatkan sifat mekanik dan sifat fisik material. Dari ketiga tabel ini data kuat tarik (*tensile strength*) dan berat jenis (*density*) dari masing-masing bahan baja SS 17-7 PH, baja AISI 4130, baja A312 TP304L diperlukan untuk menghitung tebal tabung dan berat tabung.



Gambar 4-1: Motor roket (Sutrisno, 2007)

4.1 Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Baja SS 17-7 PH

Tabel 4-1: KOMPOSISI KIMIA BAJA SS 17-7 PH (Rahardjo, 2005)

UNSUR	KOMPOSISI KIMIA (% wt)
Al	1,2
Si	0,4
Cr	17
Mn	0,7
Ni	7
N	0,04

Tabel 4-2: SIFAT-SIFAT MEKANIS DAN SIFAT BAHAN BAJA SS 17-7 PH (www.ukfstainless.co.uk/technical/physical.php, 2009)

Tensile strength /Kuat tarik (MPa)	720-900
Hardness (VHN)	390
Modulus elastisitas (GPa) at 20°C	200
Density (g/cm ³)	7,9-8,1
Melting temperature (°C)	1400-1500
Thermal conductivity (W/m.k at 20°C)	12-15

Tabel 4-3: KOMPOSISI KIMIA BAJA AISI 4130 (www.efunda.com/material/alloy, 2010)

UNSUR	KOMPOSISI KIMIA (% wt)
C	0,28-0,33
Mn	0,40-0,60
P	0,35(max)
S	0,04
Si	0,15-0,30
Cr	0,80-1,10
Mo	0,15-0,25

Tabel 4-4: SIFAT-SIFAT MEKANIK DAN FISIK BAJA AISI 4130 (www.efunda.com/material/alloy, 2010)

Tensile strength/Kuat tarik (MPa)	560,5
Hardness (HB)	156
Modulus elastisitas (GPa) at 20°C	190-210
Density (g/cm ³)	7,7-8,03
Melting temperature (°C)	1560
Thermal conductivity (W/m.K at 100°C)	42,7

Tabel 4-5: KOMPOSISI KIMIA BAJA A312-TP 304L (www.chinghann.com.tw, 2010)

UNSUR	KOMPOSISI KIMIA (% wt)
C	0,035
Si	0,75
Mn	2
Cr	18-20
Ni	8-13
S	0,03
P	0,04

Tabel 4-6: SIFAT-SIFAT MEKANIK DAN FISIK BAJA A312-TP 304L (www.chinghann.com.tw, 2010)

Tensile strength /Kuat tarik (MPa)	555
Kekerasan (HB)	191
Kerapatan (g/cm ³)	7,93
Temperatur meleleh (°C)	1560



Gambar 4-2: Motor roket RX 420

5 PERHITUNGAN DAN HASIL

Pada tabung dan cap akan menerima tegangan tarik pada arah tangential dan lateral akibat adanya tekanan gas hasil pembakaran yang cukup tinggi. Pada roket RX 420 tekanannya sebesar 40 atm dengan diameter tabung 420 mm.

Tegangan keliling (*circumferensial*) atau tegangan tangential, akan diterima kulit/penampang tabung roket sebesar (Rolfe, 1978):

$$\sigma_t = \frac{P.D}{2t} \quad (5-1)$$

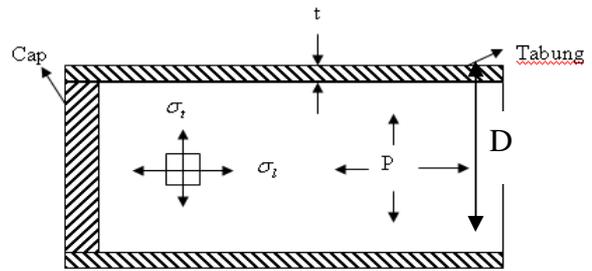
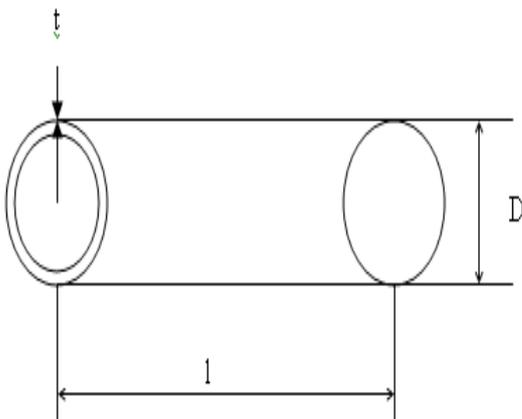
dimana:

σ_t = tegangan circumferensial

P = tekanan gas hasil pembakaran propelan

t = tebal dinding tabung

Berdasarkan persamaan 5-1, tebal tabung dapat dihitung.



Gambar 5-1: Tegangan Circumferensial dan Tegangan Longitudinal pada Tabung dan Cap

Tegangan longitudinal, akan diterima Cap, sebesar:

$$\sigma_l = \frac{P.D}{4t} \quad (5-2)$$

dimana:

σ_l = tegangan longitudinal

t = tebal dinding Cap

5.1 Baja SS 17-7 PH (Sumaraw, 2010)

Panjang tabung = 4500 mm

Diameter tabung = 420 mm

Berat jenis tabung (density) = 8 gram/cm³

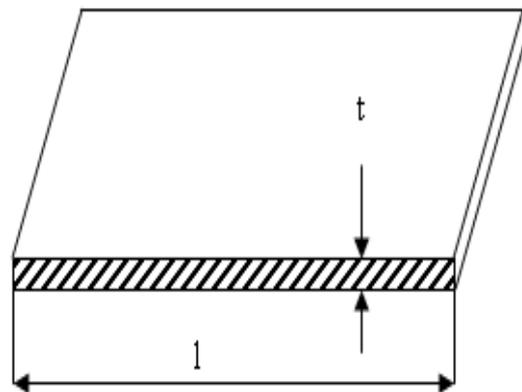
Tekanan gas pembakaran = 40 atm = 40 propelan kg/cm²

Kuat tarik (σ_u) = σ_l = 900 Mpa = 900 = 9170 kg/cm²

$$t = \frac{P.D}{\sigma_{l.2}} = 0,0916 \text{ cm} \approx 0,9 \text{ mm}$$

Tebal tabung teoritis = 0,9 mm

Mengingat hal tersebut di atas maka faktor keamanan, k = 2 (dipilih), tebal tabung yang dipakai (t) = 2 x 9mm = 1,8 mm



Gambar 5-2: Selimut tabung

Volume selimut tabung = luas selimut tabung x tebal tabung yang dipakai
 = 10682,28 cm³
 Berat jenis tabung = (7,9-8,1) gram/cm³ (Tabel 5-2)
 berat jenis tabung = 8 gram/cm³
 Berat tabung = volume tabung x berat jenis tabung
 = 85,458 kg

5.2 Bahan Baja ASTM A312 AISI TP 304L

Dapat dihitung dengan masukan:
 Berat jenis tabung = (7,7-8,03) gram/cm³ (Tabel 5-4)
 berat jenis tabung = 7,93 gram/cm³ (density)
 Tekanan gas pembakaran propelan = 40 atm = 40 kg/cm²
 Kuat tarik (σ_u) = $\sigma_t = 555$ Mpa = 56,57 kg/mm²
 Tebal tabung teoritis = 1,4 mm
 Faktor keamanan, k = 2, **tebal tabung yang dipakai (t)** = 2x1,4mm = 2,8 mm
Berat tabung = 131,7 kg

5.3 Bahan Baja AISI 4130

Dapat dihitung dengan masukan:
 Berat jenis tabung = 7,93 gram/cm³ (density) (Tabel 5-6)
 Tekanan gas pembakaran propelan = 40 atm = 40 kg/cm²
 Kuat tarik (σ_u) = $\sigma_t = 560,5$ Mpa = 57,13 kg/mm²
 Tebal tabung teoritis = 1,5 mm
 Faktor keamanan, k = 2 (dipilih), **tebal tabung yang dipakai (t)** = 3 mm
Berat tabung = 142,4 kg

Hasil perhitungan berat tabung ditampilkan pada Tabel 5-1 dengan faktor keamanan, k = 2 untuk masing-masing bahan tabung dan tebal tabung. Dari ketiga perhitungan tersebut di atas dimana untuk tabung-tabung.

- SS 17-7 PH: dipilih BJ tabung = 8 gr/cm³ dan tebal tabung 1,8 mm
- ASTM A312 AISI TP 304L: dipilih BJ tabung = 7.93 gr/cm² dan tebal tabung 2,8 mm
- AISI 4130: dipilih BJ tabung 7.93 gr/cm³ dan tebal tabung 3 mm

Maka akan diperoleh berat tabung seperti diperlihatkan pada Tabel 5-1.

Tabel 5-1: HASIL PERHITUNGAN TEBAL TABUNG DAN BERAT TABUNG

Bahan Tabung	Tebal Tabung (mm)		Berat Tabung (kg)
	Teoritis	Disarankan (k=2)	
SS 17-7 PH	0,9	1,8	85,458
ASTM A312 AISI TP304L	1,4	2,8	131,7
AISI 4130	1,5	3	142,4

k = faktor keamanan

6 PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa yang dilakukan dengan data masukan tekanan ruang bakar = 40 atm, kuat tarik bahan tabung SS 17-7 PH; ASTM A312 AISI 304L; AISI 4130, diameter tabung roket 420 mm, panjang tabung 4500mm. Maka dapat dihitung tebal tabung roket dan berat tabung roket, kemudian dimasukkan dalam Tabel 5-1.

Jika digunakan material SS 17-7 PH, tebal tabung yang disarankan = 1,8 mm (faktor keamanan= $k=2$) dan berat tabung = 85,458 kg (Tabel 5-1). Jika digunakan material ASTM A312 AISI 304L, tebal tabung yang disarankan = 2,8 mm (faktor keamanan= $k=2$) dan berat tabung = 131,7 kg (Tabel 5-1). Jika digunakan material AISI 4130, tebal tabung yang disarankan = 3 mm (faktor keamanan= $k=2$) dan berat tabung = 142,4 kg (Tabel 5-1).

Dari tabel hasil perhitungan kombinasi tebal tabung 1,8 mm dan berat tabung 86,458 kg adalah yang paling sesuai untuk digunakan pada roket RX 420.

7 KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang dibahas di atas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Bahan baja SS 17-7 PH dengan kuat tarik 900 Mpa. Tebal tabung = 0,9 mm
Tebal tabung yang disarankan ($k=2$) = 1,8 mm (aman).
- Berdasarkan hasil perhitungan maka material yang cocok untuk digunakan pada tabung roket RX 420 adalah material SS 17-7 PH karena paling tipis (1,8 mm) dan ringan (85,458 kg).
Roket RX 420 sudah menggunakan material baja SS 17-7 ini namun tebalnya 2,85 mm, berat 135,3 kg. Material ini aman (2,85 mm > 1,8 mm) namun beratnya lebih besar dari berat tabung yang disarankan (135,3 kg > 85,458 kg). Hal ini dapat dimengerti karena sulit untuk mendapatkan

material roket *high strength high pressure* dengan dimensi dan spesifikasi yang diinginkan karena proteksi dan embargo dari negara-negara produsen.

DAFTAR RUJUKAN

- Davinas, Alain, 1993. *Solid Rocket Propulsion Technology*, 1st edition, Pergamon Press, Oxford.
- Media Dirgantara, 2008. *Roket Pengorbit Satelit LAPAN RPS 420*, volume 3 nomor2, Humasmagan LAPAN.
- Media Dirgantara, 2009. *Wahana Terbang Motor RPS 420/320*, volume 4 nomor 3, Humasmagan LAPAN.
- Raharjo, M. dan Elvis A. Sumaraw, 2005. *Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Korosi Karena Oksidasi Pada Baja Paduan Cr Ni 17-7*, Prosiding Siptekgan IX LAPAN, Serpong.
- Rolfe, Stanley T., 1978. *Fracture and fatigue Control in Structures, Applications of Fracture Mechanics*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- Sumaraw, E.A., 2010. *Baja SS 17-7 PH Untuk Bahan Tabung Roket RX 420*, Seminar Siptekgan XIV, LAPAN, Serpong.
- Sutrisno, 2007. *Analisis kegagalan Motor Roket Pada Uji Terbang Roket RX 1515.01.01*, Buku Ilmiah "Energi Muatan dan Wahana Antariksa, P.T. Massma Sikumbang, Jakarta.
- Tim Rekayasa Roket, 2009. *Laporan Uji Terbang Roket 2009*, Pustekwagan, LAPAN, Jakarta.
- www.efunda.com/material/alloy/, diakses tgl 13 Maret 2010, Properties of Alloy Steel AISI 4130.
- www.chinghann.com.tw, diakses tgl 13 Maret 2010, Stainless Steel Round Tube ASTM A312-TP 304L.
- www.ukfstainless.co.uk/ukf/technical/physical.php, diakses tgl 15 Juli 2009, Physical and Properties Cr Ni 17-7 PH.

