

## PEREKAYASAAN ALAT BANTU UJI TEKAN HYDRO-ELASTIK UNTUK TABUNG / PIPA BERDIAMETER < 400 MM

Bambang S Wibowo\*

### **Abstrak**

*Belakangan ini LAPAN sudah menerapkan bahan komposit pada komponen roketnya dan sudah bisa membuat secara mandiri tabung berbahan komposit. Sehingga perlu adanya uji kualitas pada bahan tabung yang telah dibuat. Makalah ini membahas mengenai rancang bangun alat bantu uji tekan pada bagian dalam tabung dalam keadaan terbuka atau tanpa tutup pada kedua ujungnya (pipa).*

*Metode rancangan alat bantu uji tekan tersebut adalah berupa sebuah tabung/bola karet dengan ketebalan tertentu yang dimasukkan ke dalam benda uji (tabung/pipa) dimana pada kedua sisi tabung ditutup dengan pelat bulat tebal dan diikat dengan beberapa buah baut panjang. Dengan pemberian tekanan yang sangat tinggi pada balon karet maka diharapkan benda uji mengalami kerusakan akibat tekanan tersebut.*

*Berdasarkan pengamatan, balon/ ban karet tidak mengalami beban tarik maksimal sebelum terjadi kerusakan pada benda uji. Kekuatan struktur alat uji ini sudah cukup diperhitungkan bilamana karet/tabung mendapatkan beban tekanan-dalam sebesar  $130 \text{ kgf/cm}^2$ .*

*Kata kunci: komposit, uji tekan, tabung karet*

### **Abstract**

*LAPAN has applied the composite material to his rocket component and can have made autonomously the composite material tube. So as to need the existence of the quality test in the tube material that is made. This paper discuss concerning design of the pressure test implement to the tube that is open or without being closed to his two tips (pipe).*

*The method of the design of the pressure test implement like of the form of a rubber cylinder/ ball with the certain thickness that is put into the test object (the tube is open) where the two sides of the tube is closed with the round plate thick and is tied by the several long bolt. With giving of the pressure that is very high to the rubber balloon then is hoped that the test object will be damage because of this pressure.*

*Was based on observation, the balloon/the rubber tire do not experience the maximum stress before the test object has been damaged.*

*The strength of the structure of this test implement has been enough strong when the balloon/tube is getting -pressure of  $130 \text{ kgf/cm}^2$ .*

*Key words: composite, pressure test, rubber cylinder*

## **1. PENDAHULUAN**

Beberapa tahun belakangan ini LAPAN berusaha untuk mengembangkan roket dengan struktur yang berbahan komposit. Dibandingkan dengan struktur berbahan logam maka bahan komposit memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan utamanya adalah ringan dan cukup kuat untuk diterapkan sebagai alternatif tabung roket. Contoh komponen roket LAPAN yang saat ini sudah berbahan komposit adalah Nosecone atau bagian hidung roket. Komponen berikutnya yang memungkinkan bisa memakai bahan komposit adalah Tabung *Payload* (yang merupakan wadah bagi berbagai peralatan elektronik dan satelit) dan Tabung Motor (berisi bahan bakar propelan).

Selain itu sampai saat ini LAPAN khususnya PUSTEKROKET belum memiliki Alat uji tekan untuk bisa mendapatkan besar kekuatan dan besar regangan material dari tabung baik berbahan logam maupun berbahan komposit. Dengan alat bantu uji tekan tabung ini maka tabung roket, khususnya yang berbahan komposit bisa diuji tekan sampai dengan tekanan yang mengakibatkan benda uji tersebut rusak.

Alat bantu uji tekan ini dirancang berdasarkan sistem hidrostatik dimana sebuah tabung karet dengan ukuran tertentu dimasukkan ke dalam benda uji berupa tabung komposit dan kemudian tabung

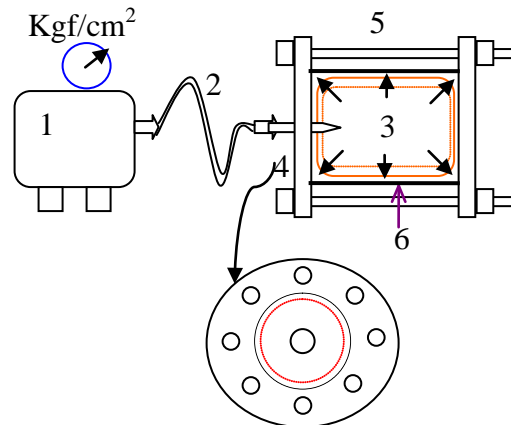
---

\*Peneliti Pusat Teknologi Roket LAPAN

karet tersebut diisi dengan air oleh sebuah pompa air (*test pump*) bertekanan tinggi sampai pada tekanan maximal.

## 2. PERANCANGAN

Secara gamblang bentuk rancangan alat bantu uji tekan tabung adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Alat bantu uji tekan Tabung Komposit

Alat uji tekan tabung ini terdiri dari beberapa komponen yaitu:

1. Pompa Test (1 buah)
2. Selang (1 buah)
3. Balon / Ban Karet tebal (1 buah)
4. Pelat baja bulat tebal / Cap (1 pasang)
5. Baut penahan / pengikat Cap ( $\geq 8$  batang)

Nomor 6 dalam Gambar 2.1 adalah tabung komposit yang akan diuji.

Baik rancangan maupun prinsip kerja alat uji ini adalah cukup sederhana. Pompa Test merupakan alat pendukung yang berfungsi sebagai sumber tekanan bagi sebuah balon karet tebal yang ukuran dari balon karet ini disesuaikan dengan benda yang akan diuji (Gambar 2.1 no. 6).

Rancangan yang sesungguhnya merupakan rangkaian antara 2 pelat baja bulat / Cap dan 8 atau lebih baut panjang. Kedua Cap tersebut dilubangi pada bagian tepinya secara melingkar dengan besar sudut yang sama sebagai tempat masuknya baut-baut. Bagian tengah dari salah satu Cap tersebut dilubangi untuk tempat masuknya selang / pipa dari Pompa Test menuju balon karet tebal.

Baut-baut panjang merupakan penahan atau pengikat kedua Cap yang mana bila pompa sudah bekerja maka Cap tersebut akan mendapatkan tekanan dari balon karet. Dengan tekanan yang bersifat radial maka balon karet juga akan menekan benda uji sampai pada tekanan yang membuat benda uji menjadi rusak (*destruktif*). Tekanan ini yang akan menjadi acuan besar kekuatan material dari benda uji dengan dimensi tertentu atau yang lebih dikenal dengan tegangan tangensial (*hoop stress*) dari tabung yang sedang diuji tersebut.

Pada halaman Lampiran terdapat foto komponen alat bantu uji tekan Hydro-Elastik yang sudah dibangun dan siap untuk dioperasikan.

## 3. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Sebagai referensi benda uji untuk pembuatan alat bantu uji tekan ini adalah sebuah tabung komposit dengan diameter  $d_t = 150$  mm, panjang  $p_t = 500$  mm dan tebal 2 @ 3 mm. Dengan dimensi benda uji seperti tersebut maka ukuran dari komponen-komponen alat uji bisa ditentukan yaitu:

Balon/ban karet: (karet alam)  
 Diameter ( $d_k$ ) =  $\pm 150$  mm  
 Panjang ( $l_k$ ) = 500 mm  
 Tebal ( $t_k$ ) = 10 mm  
 $\sigma_u = 200 \text{ kgf/cm}^2$

Serat Gelas+resin:  
 $\sigma_{\max} = 2000\text{--}3000 \text{ kgf/cm}^2$   
 (nilai ini adalah perkiraan berdasarkan hasil uji tarik komposit Glass-PEI kualitas baik)

Cap bulat: (baja)  
 Diameter ( $d_{\text{cap}}$ ) = 500 mm  
 Tebal ( $t_{\text{cap}}$ ) = 25 mm  
 $\sigma_u = 4000 \text{ kgf/cm}^2$   
 $\sigma_y = 2400 \text{ kgf/cm}^2$

Baut: (baja)  
 Diameter ( $d_b$ ) = 20 mm / M20  
 Panjang ( $l_b$ ) = 1000 mm  
 Jumlah ( $n$ ) = 8 buah (*nilai sementara*)  
 $\bar{\sigma}_{\text{baut}} = 4000 \text{ kgf/cm}^2$

Pompa Tekan:  
 $p_{\max} = 300 \text{ kgf/cm}^2$

### 3.1 Perhitungan Tegangan tangensial

Pada tebal tabung komposit 2 mm dengan  $p_{\text{pompa}} = 100 \text{ kgf/cm}^2$  maka besar tegangan tangensial adalah:

$$\begin{aligned} \sigma_t &= p \cdot \frac{r_{\text{tab}}}{t_{\text{tab}}} \dots\dots\dots(3.1) \\ &= 100 * \frac{7.5}{0.2} = 3750 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

Nilai ini adalah tegangan yang terjadi dalam dinding tabung bila tabung dengan spesifikasi bahan komposit seperti di atas diberi tekanan sebesar  $100 \text{ kgf/cm}^2$  dan dianggap akan mampu merusak tabung dari bahan komposit Glass-Epoxy. Bila dengan tekanan sebesar  $100 \text{ kgf/cm}^2$  masih belum didapat tegangan maksimalnya maka tekanan bisa ditambah sampai didapat tegangan maksimal. Beberapa pompa hydro bertekanan tinggi bisa memberikan tekanan mencapai  $500 \text{ kgf/cm}^2$  atau bahkan lebih.

### 3.2 Perhitungan Gaya axial

Tekanan terhadap Cap juga akan mengakibatkan terjadinya gaya pada masing-masing baut. Tekanan yang dikeluarkan pompa dalam hal ini adalah:  $p_{\text{pompa}} = 100 \text{ kgf/cm}^2$

$$\begin{aligned} F_{ax} &= p_{\text{pompa}} \cdot A_p = p_{\text{pompa}} \cdot \pi \cdot r_{\text{tab}}^2 \dots\dots\dots(3.2) \\ &= 100 * \pi * 7.5^2 = 17.672 \text{ kgf} \end{aligned}$$

### 3.3 Perhitungan Tegangan tarik pada baut

Di bawah ini adalah perhitungan tegangan yang terjadi pada baut-baut pengikat yang dipasang secara simetris.

$$F_{baut} = \frac{F_{ax}}{n} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$= \frac{17.672}{8} = 2.209 \text{ kgf}$$

$$\sigma_{baut} = \frac{F_{baut}}{A_{baut}} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$= \frac{2.209}{\pi * 20^2} = 175,8 \text{ kgf/cm}^2$$

$< \bar{\sigma}$  (Tegangan tarik yang terjadi pada masing-masing baut masih jauh di bawah tegangan tarik yang diizinkan)

### 3.4 Perhitungan Tegangan geser pada mur/kepala baut

$$\tau_{baut} = \frac{F_{baut}}{A_0} = \frac{F_{baut}}{\pi \cdot d_b \cdot t_b} \dots\dots\dots(3.5)$$

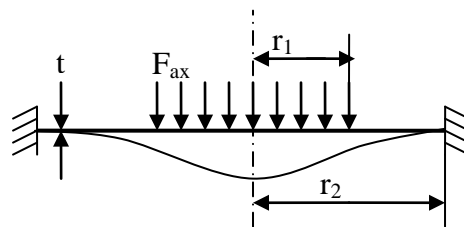
$$= \frac{2.209}{\pi * 2 * 1,8} = 195,3 \text{ kgf/cm}^2$$

$< \bar{\tau}$  (Tegangan geser yang terjadi pada masing-masing mur/kepala baut masih di bawah tegangan geser yang diizinkan)

### 3.5 Perhitungan Tegangan bending maksimal pada pelat (Cap)

Akibat tekanan dari dalam tabung maka Cap dianggap mengalami moment bending. Sehingga pada pelat bulat (Cap) tersebut akan terjadi tegangan bending pada bagian tengah dan tepi (pada bagian yang ditahan oleh baut).

Analogi dari rancangan alat ini adalah seperti gambar diagram berikut ini.



Gambar 3. 1 Diagram beban merata pada bagian tengah flens

Persamaan-persamaan berikut ini adalah persamaan-persamaan khusus untuk tabung yang mengalami beban tekan merata pada bagian flens/cap (lihat Gambar 3.1 di atas).

Pada bagian tepi:

$$\sigma_{be} = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{F_{ax}}{t_{cap}^2} \left( 2 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \dots\dots\dots(3.6)$$

$$= \frac{3}{4\pi} * \frac{17.672}{2,5^2} * \left( 2 - \frac{7,5^2}{21^2} \right)$$

$$= 1264 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_y$$

Pada bagian tengah:

$$\sigma_{bc} = \frac{3.(1+\nu)}{8\pi} \cdot \frac{F_{ax}}{t_{cap}^2} \left( \frac{r_1^2}{r_2^2} + 4 * \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \dots\dots\dots(3.7)$$

$$= 1863 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_y$$

Dimana,

r1 adalah jari-jari dalam benda uji (pipa)

r2 adalah jarak baut ke pusat pelat (cap)

t<sub>cap</sub> adalah tebal dinding cap

ν adalah nilai poisson rasio

F<sub>ax</sub> adalah beban terpusat (gaya) pada dinding cap

σ<sub>b</sub> adalah tegangan bending pada tepi pelat (e) / pusat pelat (c)

### 3.6 Analisa kekuatan bahan media karet

Sudah bukan rahasia lagi bahwa karet sering sekali dipergunakan sebagai bahan untuk menahan berbagai beban pada alat-alat berat. Karena kemampuannya dalam menahan beban ini maka karet biasa dipakai sebagai alas kaki berbagai peralatan, katup / klep sebuah pompa baik pneumatik ataupun hidrolis, seal saluran gas ataupun cairan, ban luar dan dalam sebuah roda dan untuk berbagai keperluan lainnya.

Dengan dasar inilah maka dipergunakan karet sebagai media untuk menahan air agar tidak lolos dari celah-celah tabung dan pelat penahan. Secara pasti tegangan tarik maksimum yang dimiliki karet yang dipergunakan pada percobaan ini masih belum diketahui. Yang pasti bahwa karet tidak akan mengalami tegangan maksimum sebelum benda uji mengalaminya.

### 3.7 Perhitungan beban maximal

Untuk mencari beban maximal yang diperbolehkan terjadi pada struktur alat maka perlu dicari tekanan maximal di dalam tabung karet. Faktor keamanan yang terkecil adalah terjadi pada bagian tengah Cap. Sehingga sebagai referensi diambil nilai maximal pada bagian ini. Dengan σ<sub>bc</sub> = σ<sub>y</sub>, maka dari rumus 3.7 didapat

$$F_{ax} = \frac{8\pi}{3.(1+\nu)} \cdot \frac{\sigma_y \cdot t^2}{\left( \frac{r_1^2}{r_2^2} + 4 * \ln \frac{r_2}{r_1} \right)} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$F_{ax} = \frac{8\pi}{3.(1+0,3)} * \frac{2400.2,5^2}{\left( \frac{7,5^2}{21^2} + 4 * \ln \frac{21}{7,5} \right)}$$

$$= 22.765,8 \text{ kgf}$$

Dan dari rumus 3.2

$$P_{pompa} = \frac{F_{ax}}{\pi \cdot r_{tab}^2} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$P_{pompa} = \frac{22.765,8}{\pi * 7,5^2} = 128,8 \text{ kgf/cm}^2$$

$$(\leq 130 \text{ kgf/cm}^2)$$

Jadi, tekanan maximal yang diperbolehkan terjadi di dalam tabung untuk alat ini adalah sebesar 130  $\text{kgf/cm}^2$ . Nilai ini akan berubah bila dimensi benda uji dibuat berbeda dengan contoh di atas.

#### 4 KESIMPULAN

Alat bantu uji tekan yang sudah didesain dan difabrikasi ini dari segi methoda kerjanya merupakan yang pertama kali khususnya dalam penelitian di lingkungan LAPAN. Hal yang baru (*inovatif*) adalah mengenai komponen yang membantu untuk menekan benda uji (tabung komposit). Komponen yang dipergunakan adalah berupa karet tebal yang berfungsi untuk mencegah media air keluar melalui celah antara tabung dan pelat baja (cap).

Berdasarkan pengamatan dan pengalaman, penggunaan karet sebagai penutup celah atau katup adalah hal yang umum dan cukup bisa diandalkan. Dalam hal ini karet tidak mengalami beban tarik maksimal sebelum terjadi deformasi dan kerusakan pada benda uji. Sebagai contoh sederhana adalah penggunaan ban dalam pada ban luar kendaraan.

Secara matematis, kekuatan rancangan alat uji dengan diameter benda uji  $d_i=150$  mm, sudah cukup memenuhi syarat bila mendapatkan tekanan-dalam sampai pada 130  $\text{kgf/cm}^2$ . Jadi, untuk diameter tabung sebesar 150 mm, tekanan yang dipergunakan untuk menekan tabung tidak boleh melebihi batas aman 130  $\text{kgf/cm}^2$ . Tentunya bila ukuran benda uji diperbesar maka nilai maximal tekanan di dalam tabung akan menurun. Sedangkan diameter tabung yang bisa diuji dengan alat ini adalah tidak lebih dari 400 mm.

Berdasarkan percobaan uji tekan terhadap tabung komposit *Glas-Epoxy* (lampiran) dengan tebal dinding tabung  $\pm 2,5$  mm, panjang 500 mm dan diameter dalam 150 mm seperti contoh di atas maka hasilnya menunjukkan bahwa tabung tersebut pecah pada tekanan antara 65 s/d 70 bar yang terbaca pada manometer pompa test.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bambang S Wibowo, *Perekayasaan Alat Filament Winding*, Rumpin-Bogor, 2010.
- Gere & Timoshenko, *Mechanics of Materials*, Wadsworth International, Belmont, California, 1985.
- Isaac Minkoff, *Materials Processes, A short introduction*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg Newyork, 1992.
- PP. Benham & FV. Warnock, *Mechanics of Solids and Structures*, Pitmun Publishing INC.
- *Mechanical Components in Flexure II*, 1976.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Bambang Sapto Wibowo  
Tempat & Tgl. Lahir : Jember, 31 Desember 1966  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Instansi Pekerjaan : LAPAN  
NIP. / NIM. : 19661231.198701.1.002  
Pangkat / Gol. Ruang : Penata Muda / III.c  
Jabatan Dalam Pekerjaan : Staf Bidang Struktur & Mekanika  
Agama : Islam  
Status Perkawinan : Kawin

### DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMAN 1 JEMBER Tahun: 1986  
STRATA 1 (S.1) : HHS DENHAAG Tahun: 1995

### ALAMAT

Alamat Rumah : Jl. Bintara 8 No 29D Bintara, Bekasi Barat  
Telp. : 02192911094 HP. : 085880311250  
Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN Rumpin, Bogor.  
E-mail : b7w01@yahoo.com

### LAMPIRAN

- Alat bantu uji tekan kombinasi Hydro-Elastik untuk Tabung / Pipa &
- Hasil Uji pada tabung uji komposit Gelas-Epoxy



Foto: Team R&B TurMek LAPAN