
ANALISIS KESELAMATAN KAPSUL FASILITAS IRADIASI PRTF**Suwarto***Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN
prsg@batan.go.id***ABSTRAK**

ANALISIS KESELAMATAN KAPSUL FASILITAS IRADIASI PRTF. *Power Ramp Test Facility (PRTF) adalah sebuah fasilitas iradiasi yang digunakan untuk pengujian bahan bakar reaktor daya. PRTF dilengkapi dengan sebuah kapsul sebagai wadah batang bahan bakar uji. Selama PRTF beroperasi, kapsul dialiri air bertekanan 160 bar. Karena tekanan tinggi tersebut maka harus dianalisis dampak kapsul terhadap keselamatan teras reaktor. Analisis ini bertujuan untuk menguji kekuatan komponen kapsul terhadap tekanan kerjanya. Analisis ini dilakukan dengan perhitungan kapasitas tekanan komponen kapsul. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa kapsul dengan kapasitas tekanan 438 bar, akan aman terhadap tekanan operasi sistem PRTF*

Kata kunci : *Kapasitas tekanan kapsul PRTF*

ABSTRACT

CAPSULE SAFETY ANALYSIS OF PRTF IRRADIATION FACILITY. *Power Ramp Test Facility (PRTF) is an irradiation facility used for fuel testing of power reactor. PRTF has a capsule which is a test fuel rod container. During operation, pressurized water of 160 bars flows through in the capsule. Due to the high pressure it should be analyzed the impact of the capsule on reactor core safety. This analysis has purpose to calculate the ability of capsule pressure capacity. The analysis was carried out by calculating pressure capacity. From the calculating results it can be concluded that the capsule with pressure capacity of 438 bars will be safe to prevent the operation pressure of PRTF*

Key words : *PRTF capsule pressure capacity*

PENDAHULUAN

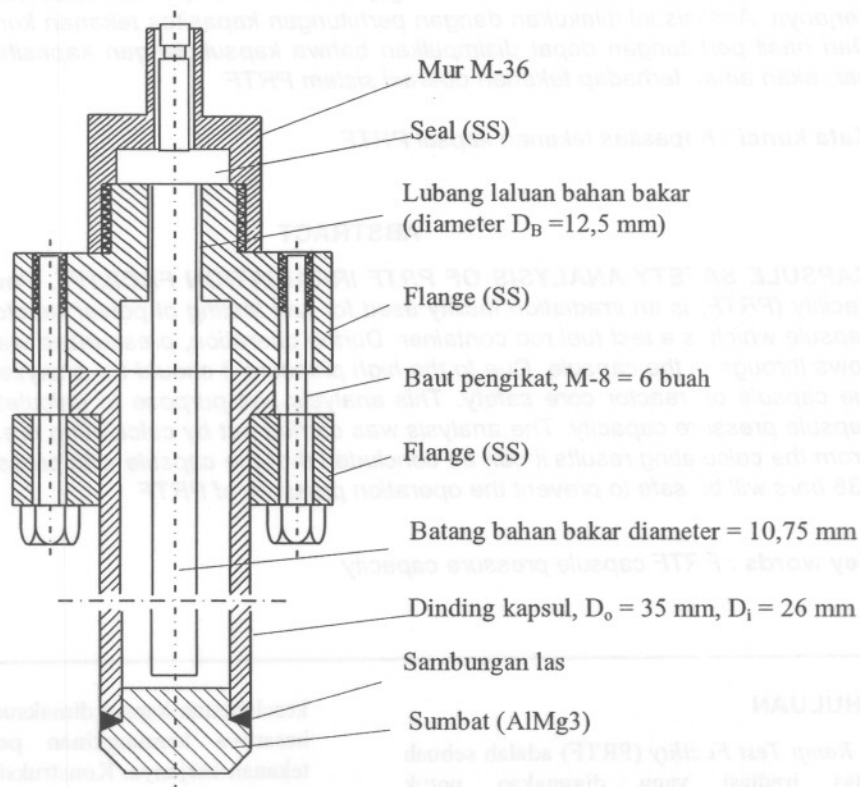
Power Ramp Test Facility (PRTF) adalah sebuah fasilitas iradiasi yang digunakan untuk pengujian bahan bakar reaktor daya jenis *Pressurized Water Reaktor (PWR)*. PRTF dilengkapi dengan sebuah kapsul sebagai wadah batang bahan bakar uji. Kapsul selain berisi bahan bakar juga berisi air yang dihubungkan dengan rangkaian pendingin primer dan pompa sirkulasi. Selama PRTF beroperasi tekanan air pendingin primer dijaga pada nilai 160 bar. Sehubungan dengan tekanan tinggi tersebut dipandang perlu untuk mengetahui sejauh mana dampak kapsul terhadap keselamatan teras reaktor. Analisis

keselamatan kapsul dimaksudkan untuk mengetahui besarnya kemungkinan pecahnya kapsul pada tekanan kerjanya. Konstruksi kapsul PRTF tersusun dari sebuah tabung silindris yang terbuat dari bahan AlMg3, bagian atasnya ditutup menggunakan *flange* yang terbuat dari bahan stainless steel (SS) dan bagian bawahnya ditutup menggunakan sumbat yang terbuat dari bahan AlMg3. Sebagai pengikat *flange* digunakan 6 buah baut ukuran diameter nominal 8 mm (M-8) dan sebuah mur berukuran diameter 36 mm (M-36) yang terbuat dari bahan SS. Mur ini berfungsi untuk menutup lubang saluran batang bahan bakar menuju kapsul. Mur tersebut harus dibuka dan ditutup pada kegiatan muat-

bongkar bahan bakar uji. Sumbat berupa batang silindris pejal dari bahan AlMg3 yang disambungkan dengan lubang silindris di bagian bawahnya menggunakan sambungan las^[1]. Analisis ini dilakukan dengan cara pengukuran kekuatan komponen kapsul terhadap tekanan menggunakan perhitungan. Perhitungan kekuatan komponen kapsul meliputi kekuatan dinding tabung, keenam baut pengikat dan mur pada *flange* serta kekuatan sambungan las antara sumbat dan tabung bagian bawah. Kondisi PRTF saat ini adalah siap dioperasikan setelah melewati proses refungsionalisasi.

TEORI

Kapsul PRTF tersusun dari dinding kapsul, *flange* dan sumbat. Dinding kapsul berupa tabung silindris yang terbuat dari bahan AlMg3 dengan ketebalan 4,5 mm. Bagian atas tabung ditutup menggunakan *flange* dari pelat SS yang diikat menggunakan 6 buah baut pengikat berukuran M-8. Permukaan luar pelat tersebut memiliki lubang berulir dengan diameter lubang 12,5 mm sebagai fasilitas muat-bongkar bahan bakar. Lubang berulir ditutup menggunakan sebuah mur berukuran M-36. Bagian bawah tabung ditutup dengan sumbat berupa batang silindris pejal dari bahan AlMg3 yang di las dengan dinding tabung. Bentuk kapsul ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Kapsul PRTF^[1]

Dinding kapsul

Dinding kapsul berbentuk silindris dengan tebal $t = 4,5$ mm dan diameter dalam $D_i = 26$ mm. Nilai D_i/t

$$\sigma_{t \max} = \frac{P(r_o^2 + r_i^2)}{r_o^2 - r_i^2} \text{ dan } \sigma_{t \min} = -P$$

$$\sigma_s \max = \frac{\sigma_{t \max} - \sigma_{t \min}}{2} = \frac{\sigma_{t \max} - (-P)}{2}$$

$$\sigma_s \max = \frac{P(r_i + t)^2}{(r_i + t)^2 - r_i^2} \dots \dots \dots (1)$$

= $26/4,5 = 5,77$ nilai ini kurang dari 10 maka kapsul termasuk katagori berdinding tebal dan berlaku persamaan berikut ini (untuk bahan liat/ductile)^[2].

Keterangan :

- $\sigma_{t \max}$ = Tegangan tarik maksimum yaitu pada dinding kapsul bagian dalam (N/mm^2)
- $\sigma_{t \min}$ = Tegangan tarik minimum yaitu pada dinding kapsul bagian luar (N/mm^2)
- $\sigma_s \max$ = Tegangan geser maksimum dalam dinding kapsul (N/mm^2)
- p = Tekanan dalam kapsul (N/mm^2)
- r_o = Jari-jari luar kapsul (mm) = 17,5 mm
- r_i = Jari-jari dalam kapsul (mm) = 13 mm
- t = Tebal dinding kapsul (mm) = 4,5 mm

Flange

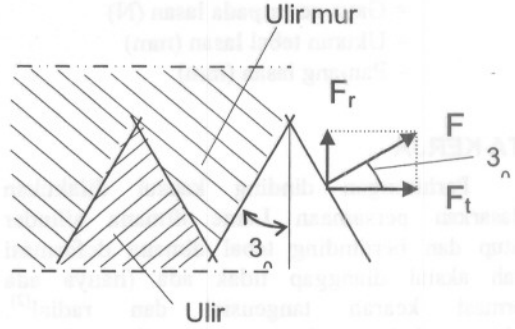
Flange sebagai penutup bagian atas kapsul memiliki dua komponen yang harus dihitung kekuatannya yaitu pengikat flange berupa 6 buah baut berukuran M-8 dan sebuah mur ukuran M-36 sebagai penutup lubang saluran batang bahan bakar yang akan diuji. Kekuatan baut maupun mur bergantung pada beban awal yaitu pada kekencangan ikatannya^[3] Putaran mur menyebabkan timbulnya torsi pada diameter minor baut.

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d_r^3} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- τ = Torsi (N/mm^2)
 - T = Momen putar ($N \text{ mm}$)
 - d_r = Diameter minor baut (mm)
- Torsi pada baut akan menimbulkan gaya tarik F_t yang merupakan resultan dari gaya radial F_r dan

gaya tangensial F_{tg} pada pasangan ulir mur-baut (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Pasangan ulir mur-baut^[3]

$$F_{tg} = \tau A_s \dots \dots \dots (3)$$

Dimana $A_s = \pi d_r w_i \text{ pitch} \dots \dots \dots (4)$

Dari Gambar 2: $F_t = \frac{F_{tg}}{\cos 30} = 1,15 F_{tg} \dots \dots \dots (5)$

Keterangan :

- A_s = Luasan tegangan geser (mm^2)
- w_i = Faktor luasan tegangan geser (tanpa satuan)
- Pitch = Jarak antar puncak ulir (mm)
- A_i = Luas permukaan dinding kapsul bagian dalam (mm^2)
- F_{tg} = Gaya tangensial (N)
- F_t = Gaya tarik (N)

Sumbat

Sumbat berupa batang pejal silindris terbuat dari bahan AlMg3 yang disambungkan pada dinding kapsul bagian bawah menggunakan sambungan las jenis butt joint yang berbentuk V. Sambungan jenis ini akan menderita beban tegangan tarik σ_t dan geser σ_s yang berasal dari tekanan dalam kapsul P ^[4]. Tegangan pada lasan adalah :

$$\sigma_t = \frac{F_t}{h \ell} \dots \dots \dots (6)$$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{h \ell} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

σ_t	= Tegangan tangensial = tegangan tarik pada lasan (N/mm^2)
σ_s	= Tegangan geser pada lasan (N/mm^2)
F_t	= Gaya tarik pada lasan (N)
F_s	= Gaya geser pada lasan (N)
h	= Ukuran tebal lasan (mm)
ℓ	= Panjang lasan (mm)

TATA KERJA

Perhitungan dinding kapsul dilakukan berdasarkan persamaan Lamé dimana silinder tertutup dan berdinding tebal dimana deformasi kearah aksial dianggap tidak ada (hanya ada deformasi kearah tangensial dan radial^[2]. Perhitungan kekuatan baut pengikat *flange* kapsul dilakukan berdasarkan sifat ulir pada mur dan baut yang bertumpu pada besarnya momen putar pada pengencangan ikatannya sebagai beban awal^[3]. Perhitungan kekuatan sambungan las antara sumbat dengan dinding kapsul dilakukan berdasarkan persamaan tegangan untuk sambungan lasan jenis *butt joint* berbentuk V^[4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis berupa hasil perhitungan yang menyatakan bahwa kapsul PRTF memiliki kemampuan menahan tekanan ke arah atas = 438 bar, arah samping = 450,4 bar dan arah bawah = 839 bar.

Dinding kapsul

Tegangan tarik maksimum $\sigma_{t \max}$ untuk bahan AlMg3^[1] adalah 201 N/mm^2 dan tegangan geser maksimumnya $\sigma_{s \max}$ diambil setengahnya^[2] sehingga $\sigma_{s \max} = 100,5 N/mm^2$. Dengan memasukkan nilai jari-jari bagian dalam kapsul $r_i = 13$ mm dan tebal kapsul $t = 4,5$ mm maka persamaan (1) dapat digunakan untuk menentukan besarnya tekanan P.

$$P = [\sigma_{s \max} \cdot (r_i + t)^2 - r_i^2] / (r_i + t) = [100,5 \cdot (13+4,5)^2 - 13^2] / (13+4,5) = 45,04 N/mm^2 = 450,4 \text{ bar.}$$

Besaran P merupakan kemampuan dinding kapsul maksimal menahan tekanan dalam kapsul.

Baut pengikat *flange*

Ikatan keenam baut pengikat pada *flange* masing-masing dikencangkan dengan kekuatan momen $T=15$ Nm = 15000 Nmm^[1]. Dari Tabel 14-2^[2] untuk baut ukuran M-8 memiliki diameter minor $d_r = 6,77$ mm dan pitch = 1 mm. Besarnya torsi τ dicari menggunakan persamaan (2). $\tau = [16(15000)] / [\pi(6,77)^3] = 246 N/mm^2$

Dari Tabel 14-5^[3] diperoleh nilai $w_i = 0,8$ sehingga luasan tegangan geser A_s melalui persamaan (4) adalah $A_s = \pi \times 6,77 \times 0,8 \times 1 = 17 mm^2$ dan melalui persamaan (3) gaya tangensial $F_{tg} = 246 \times 17 = 4182$ N. Gaya tarik F_t pada baut melalui persamaan (5) adalah $F_t = 1,15 \times 4182 = 4809$ N. Nilai ini hanya untuk 1 buah baut sehingga untuk keenam baut $F_{t \text{ total}} = 4809 \times 6 = 28854$ N. $F_{t \text{ total}}$ adalah sama dengan gaya dorong penutup atas akibat tekanan dalam kapsul. Gaya dorong tersebut adalah $F = F_{t \text{ total}} = P \times A$ dimana P adalah tekanan dalam kapsul dan A adalah luas penampang dinding dalam kapsul. $A = (\pi/4)D_i^2$ dimana D_i adalah diameter dalam dinding kapsul = 26 mm sehingga $P = F_{t \text{ total}} / [0,785(26)^2] = 54,35 N/mm^2 = 543,5$ bar. Jadi untuk melepaskan ikatan keenam baut pengikat diperlukan tekanan dalam kapsul lebih dari 543,5 bar.

Dari Tabel 14-2^[3], untuk mur ukuran M-36 memiliki diameter minor $d_r = 32,32$ mm dan pitch = 3 mm. Mur ini dikencangkan dengan kekuatan momen $T = 120$ Nm = 120000 Nmm^[1]. Melalui persamaan (2) $\tau = [16(120000)] / [\pi(32,32)^3] = 19,2 N/mm^2$ dari persamaan (4) diperoleh nilai luas $A_s = \pi \times 32,32 \times 0,8 \times 3 = 243,56 mm^2$ sehingga gaya tangensial $F_{tg} = 19,2 \times 243,56 = 4676$ N. Dari persamaan (5) diperoleh $F_t = 1,15 \times 4676 = 5377$ N. F_t adalah gaya dorong dari tekanan dalam kapsul melalui saluran / lubang bahan bakar. Diameter saluran tersebut adalah 12,5 mm. Tekanan $P = F_t / [0,785(12,5)^2] = N/mm^2 = 5377 / [0,785(12,5)^2] = 43,84 N/mm^2 = 438,4$ bar. Jadi untuk melepas ikatan mur penutup diperlukan tekanan dalam kapsul yang lebih besar dari 438,4 bar.

Sumbat

Panjang lasan adalah keliling lingkaran luar kapsul $\ell = \pi \cdot D_o$ dimana D_o adalah diameter luar dinding kapsul = 35 mm. $\ell = \pi \cdot 35 = 110$ mm, sedangkan h adalah sama dengan tebal dinding kapsul = 4,5 mm. Untuk sambungan lasan jenis *butt joint* V memiliki batasan kekuatan tegangan dimana untuk tegangan tarik $\sigma_{t \max} = 90 N/mm^2$ dan tegangan geser $\sigma_s = 55 N/mm^2$ ^[2].

Dari persamaan (6) diperoleh $F_t = \sigma_{t \max} \cdot h \cdot \ell = 90 \times 4,5 \times 110 = 44550$ N. Gaya F_t merupakan kekuatan sambungan untuk menahan gaya pada dinding kapsul ke arah bawah atau menahan tekanan sebesar P_t . Nilai $P_t = F_t / [(\pi/4)(D_i)^2] = 44550 / (0,785)(35^2) = 83,9 N/mm^2 = 839$ bar. Dari persamaan (7) nilai $F_s = \sigma_{s \max} \cdot h \cdot \ell = 55 \times 4,5 \times 110 = 27225$ N

Gaya F_s merupakan kekuatan sambungan untuk menahan gaya pada dinding kapsul ke arah radial atau untuk menahan tekanan sebesar $P_s = F_s /$

$[(\pi/4)(D_i)^2] = 27225 / (0,785)(35^2) = 51,27 \text{ N/mm}^2 = 512,7 \text{ bar}$. Jadi untuk merusak sambungan las ke arah bawah diperlukan tekanan dalam kapsul lebih besar dari 839 bar dan lebih besar dari 512,27 bar ke arah samping.

Hasil perhitungan di atas menyatakan bahwa kapsul PRTF memiliki kemampuan menahan tekanan ke arah atas = 438 bar, arah samping = 450,4 bar dan arah bawah = 839 bar. Untuk selanjutnya dapat dinyatakan bahwa kapasitas tekanan kapsul adalah 438 bar.

Pengaruh suhu

Tekanan operasi PRTF adalah 160 bar, tekanan ini meliputi bagian dalam kapsul hingga seluruh rangkaian pendingin primer dimana tekanan tersebut dipertahankan tetap 160 bar melalui sistem kendali tekanan. Adapun pengaruh kenaikan suhu air primer dalam kapsul yang akan menaikkan tekanan kapsul dan rangkaian pendingin primer akan diantisipasi oleh sistem pengaturan gas buang yang berupa sebuah katup yang terbuka selama PRTF beroperasi. Pembukaan katup ini dimaksudkan untuk membebaskan gas hidrogen yang terbentuk oleh proses radiolisa air primer sehingga kenaikan tekanan dapat dihindari. Oleh karena itu selama PRTF beroperasi justru tekanan dalam kapsul akan cenderung menurun dan penurunan ini diantisipasi oleh sistem pemasok tekanan (sebuah kompresor gas helium) secara otomatis. Dengan demikian tekanan kapsul dan rangkaian pendingin primer tetap pada nilai 160 bar. Dari uraian di atas dapat diartikan bahwa selama PRTF beroperasi, kemungkinan tekanan dalam kapsul akan mencapai atau melampaui kapasitas tekanan kapsul yang nilainya 438 bar adalah sangat kecil

KESIMPULAN

Kapsul PRTF yang mempunyai kemampuan maksimum menahan tekanan sebesar 438 bar adalah aman untuk menahan tekanan operasinya.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, "Safety Analysis and Design Report Power Ramp Test Facility-PRTF", Ident - No. 60.15567.1, 1988.
2. R.S KHURMI and J.K. GUPTA, "A Text Book Of Machine Design", Eurasia Publishing House (Pvt) Ltd, Ram Nagar, New Delhi - 110055, 1995.

3. ROBERT L. NORTON, "Machine Design An Integrated Approach", Third Edition, Pearson Prentice Hall, 2006.
4. RICHARD G. BUDYNAS AND J. KEITH NISBETT, "Shigley's Mechanical Engineering Design", Eighth Edition in SI Units, Mc Graw Hill, Copyright 2008.

TANYA JAWAB

Sigit Pramana

- Sebenarnya status PRTF saat ini sampai dimana?

Suwarto

- ✧ Status pada saat ini PRTF selesai perbaikan dan siap dioperasikan. Kegiatan terkait PRTF saat ini adalah sedang menyusun LAK untuk permohonan izin operasinya.

Marsudi

- Apakah ada kemungkinan kenaikan tekanan dalam kapsul melebihi kapasitas kapsul? Kalau ada bagaimana?

Suwarto

- ✧ Kemungkinan tersebut ada tetapi sangat kecil (hampir tidak mungkin) karena selama operasi, kapsul terhubung dengan rangkaian pipa yang dilengkapi dengan katup yang selalu terbuka untuk membuang gas hidrogen produk radiolisa. Jadi yang ada adalah kecenderungan tekanan tersebut turun. Penurunan tekanan diantisipasi oleh sistem penyedia tekanan gas He secara otomatis.

