

## RANCANGAN SISTEM PENGUNGKUNG BAHAN BAKAR

Suwanto

### ABSTRAK

**RANCANGAN SISTEM PENGUNGKUNG BAHAN BAKAR RSG-GAS.** Sistem pengungkung bahan bakar adalah suatu fasilitas yang berfungsi untuk mengisolasi bahan bakar yang mengalami kegagalan agar produk fisinya tidak mencemari kolam reaktor. Sistem ini dirancang sebagai antisipasi kemungkinan terjadinya kebocoran bahan bakar akibat proses pembakaran di dalam teras reaktor. Rancangan yang diajukan dapat memuat dua bundel bahan bakar gagal RSG-GAS tanpa penyebaran produk fisi ke kolam reaktor. Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh bahwa rancangan yang diajukan mampu terhadap tegangan yang timbul dan tidak terjadi penumpukan panas dalam sistem pada saat pengoperasiannya.

### ABSTRACT

**DESIGN OF RSG-GAS FUELS CONFINEMENT SYSTEM.** Fuels containment system is a facility to isolate fouled fuels so that their fission product could not contaminate the reactor pool. This system was designed to anticipate the occurrence of the fuels damage by leakage in consequence of burn up process in the reactor core. The proposed design contains two RSG-GAS fouled fuels bundles and could not distribute the fission product to reactor pool. From the analysis result showed that the proposed design is capable to the working stresses and without heat accumulation in the system during its operation.

## 1. PENDAHULUAN

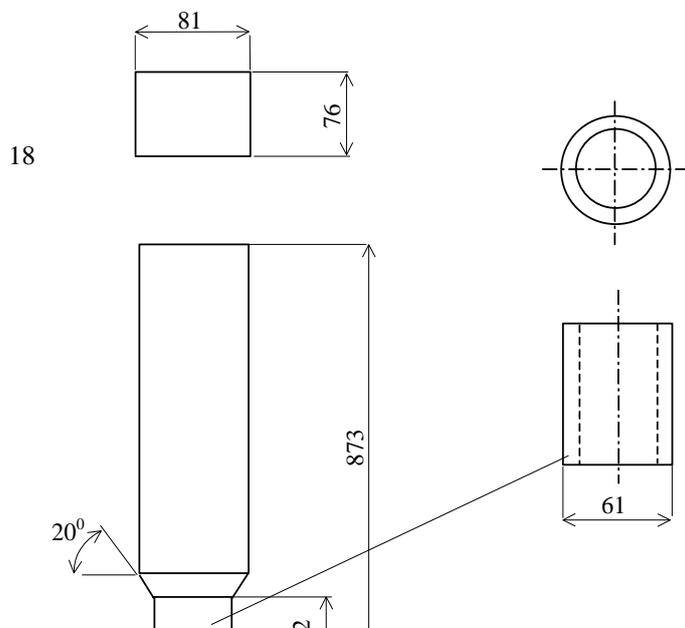
Untuk mempertahankan integritas kelongsong bahan bakar telah menjadi perhatian utama pada penyelenggaraan sistem keselamatan RSG-GAS di P2TRR. Namun demikian tidak tertutup kemungkinan terjadinya kegagalan berupa keretakan atau kebocoran kelongsong bahan bakar pada saat pengoperasiannya. Sebagai langkah antisipasi atas kemungkinan kegagalan bahan bakar tersebut direncanakan untuk membuat suatu fasilitas pengungkung bahan bakar yang berfungsi untuk mengisolasi bahan bakar tersebut agar produk fisinya tidak mencemari kolam reaktor.

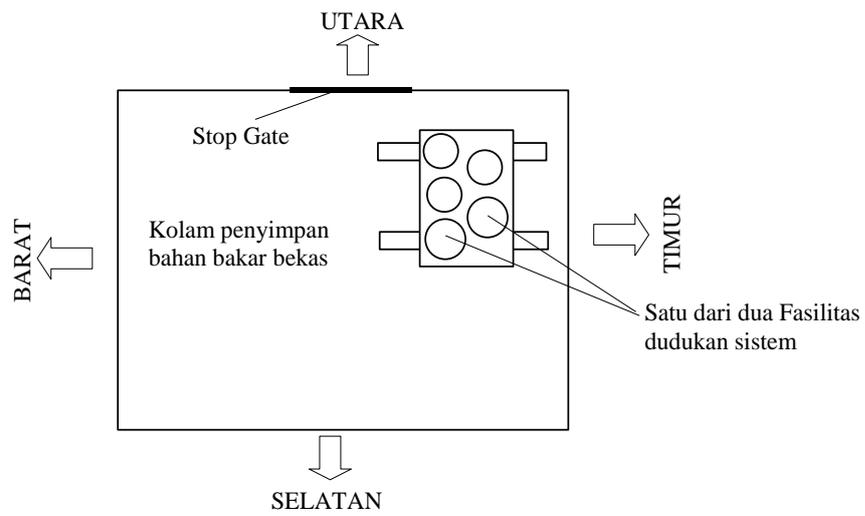
Rancangan sistem tersebut dapat memuat dua bundel (2 elemen) bahan bakar gagal RSG-GAS dan tersusun dari tiga komponen utama masing-masing adalah penutup sistem, tabung sistem dan dudukan bahan bakar. Perancangan sistem ini dilakukan dengan cara menentukan bentuk sistem yang berkaitan dengan lokasi penempatan sistem dan perilaku panas bahan bakar dalam sistem serta perhitungan kekuatan komponen-komponen sistem terhadap beban yang mereka derita.

## 2. TEORI

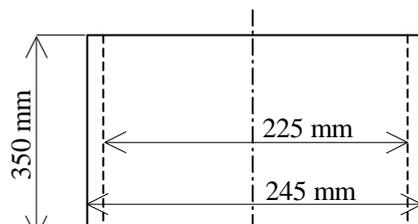
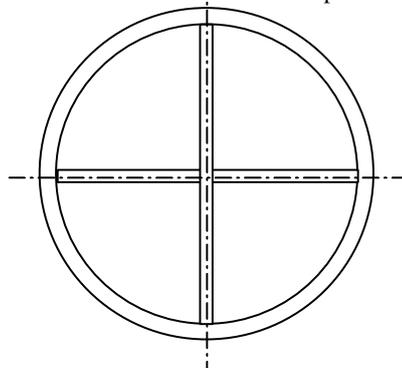
Parameter yang diperlukan pada perancangan ini meliputi bentuk dan dimensi bahan bakar yang akan dikungkung, bentuk dan dimensi fasilitas dudukan sistem dan panas peluruhan bahan bakar seperti ditunjukkan pada gambar 1, 2a dan 2b. Data-data lain yang masih dibutuhkan adalah berupa data dari Sub Bidang Akuntansi Bahan Nuklir P2TRR yang menunjukkan nilai panas peluruhan bahan bakar dimana energi panas yang dikeluarkan setiap bundel bahan bakar adalah 1458 Watt untuk kondisi burn up 56 % pada selang waktu 48 jam setelah iradiasi.

Angka 56 % adalah nilai burn up maksimum dari bahan bakar RSG-GAS yang diijinkan sedangkan angka 48 jam adalah persyaratan spesifikasi teknis yang menyatakan bahwa penanganan elemen teras boleh dilakukan paling cepat 48 jam setelah reaktor shutdown.





Gambar 2a. Dudukan sistem pada dasar kolam(tampak atas)



### **3. PERANCANGAN SISTEM**

#### **3.1. Bentuk sistem**

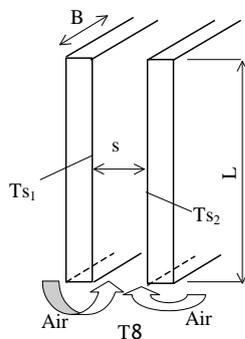
Sistem pengungkung bahan bakar gagal RSG-GAS direncanakan terbuat dari bahan aluminium dengan pertimbangan faktor perpindahan panasnya yang cukup tinggi. Bagian dalam sistem berisi air bebas mineral sedangkan bagian luarnya terendam dalam air kolam penyimpan bahan bakar bekas yang juga merupakan air bebas mineral. Sistem ini tersusun dari 3 komponen utama masing-masing adalah penutup sistem, tabung

sistem dan dudukan bahan bakar. Penutup sistem diikat dengan tabung sistem bagian atas dengan menggunakan 6 buah baut pengikat sedangkan dudukan bahan bakar dihubungkan dengan tabung sistem bagian bawah menggunakan sambungan las.

Penutup sistem tersusun dari sub komponen berupa piringan penutup yang dilengkapi dengan seal (O-ring), 6 buah baut pengikat, 2 buah pelat penyangga batang pengait yang dihubungkan dengan permukaan piringan penutup menggunakan sambungan las, batang pengait yang menghubungkan kedua pelat penyangga, pipa isap yang terhubung dengan sisi isap pompa sirkulasi dan pipa tekan yang terhubung dengan sisi tekan pompa sirkulasi (lihat lampiran 2). Tabung sistem tersusun dari sub komponen berupa piringan tabung dan sebuah tabung (lihat lampiran 3). Piringan tabung dihubungkan dengan tabung bagian atas menggunakan sambungan las.

Dudukan bahan bakar tersusun dari sub komponen berupa pelat dudukan bahan bakar yang dilengkapi dengan 2 lubang dudukan bahan bakar, 2 buah pipa penyangga yang ujung atasnya dihubungkan menggunakan sambungan las dengan pelat dudukan bahan bakar dan ujung bawahnya dihubungkan dengan pelat penyangga yang juga berfungsi sebagai alas tabung. Proses perpindahan panas dari bahan bakar (di dalam sistem) ke luar sistem akan terjadi secara konveksi bebas dari permukaan pelat bahan bakar ke air pendingin dalam sistem, secara konduksi dari permukaan dinding dalam ke permukaan dinding luar sistem kemudian dari sini diteruskan secara konveksi bebas ke air kolam penyimpanan bahan bakar bekas.

Untuk mengetahui perilaku panas bahan bakar terkait penumpukan panas dalam sistem dilakukan dengan cara percobaan yang menggunakan hasil perhitungan suhu pelat bahan bakar sebagai tolok ukurnya. Perhitungan tersebut dilakukan melalui tinjauan panas pada kanal antar pelat (lihat gambar 3). Pelat bahan bakar sebagai sumber panas berjumlah 21 buah per bundel bahan bakar sehingga jumlah permukaan panasnya =  $2 \times 21 = 42$  buah. Dengan asumsi bahwa panas dibangkitkan oleh permukaan kelongsong bahan bakar maka suhu permukaan kelongsong =  $T_s$ .



Keterangan gambar :

$L$  = Panjang pelat bahan bakar = 0,60 m

$B$  = Lebar pelat bahan bakar = 0,062 m

$s$  = Lebar kanal = 0,00256 m

$T_{s1} = T_{s2} = T_s$  = Suhu permukaan pelat bakar ( $^{\circ}K$ )

$T_8$  = Suhu kamar/air dalam sistem =  $303^{\circ}K$

Panas 1 bundel bahan bakar =  $Q = 1458$  Watt

Gambar 3. Tinjauan perpindahan panas pada kanal antar pelat

Harga  $T_s$  dicari melalui pendekatan persamaan semi empirik yang diambil dari pustaka Introduction to heat Transfer, Chapter 9 tentang Free Convection Within Parallel Plate Channels (lihat persamaan 1 dan 2), dengan data parameter diambil pada kondisi suhu air kurang/lebih  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$\text{Nu}_s = \{q_s / (T_s - T_{\infty})\} (s/k) = 0,144 \{Ra_s (s/L)\}^{0,5} \dots\dots\dots$$

(1)

$$Ra_s = (g \times \beta \times q_s \times s^4) / (k \times \alpha \times \nu) \dots\dots\dots$$

(2)

Keterangan :

- |   |   |
|---|---|
| $\text{Nu}_s$ = Bilangan Nusselt (tanpa satuan),                            | $Ra$ = Bilangan Rayleigh (tanpa satuan),  |
| $q_s$ = Fluks panas permukaan pelat ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),              | $k$ = Konduktivitas air ( $0,613\text{ W}/\text{mK}$ ),                             |
| $\beta$ = Koefisien termal volumetrik ( $0,276 \times 10^{-3}/\text{K}$ ),  | $g$ = Percepatan grafitasi ( $9,8\text{ m}/\text{detik}^2$ ),                       |
| $\alpha$ = Difusi termal ( $1,47 \times 10^{-7}\text{ m}^2/\text{detik}$ ), | $\nu$ = Viskositas kinematik air ( $0,832 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{detik}$ ) |

Panas pada satu permukaan =  $q = Q / \text{Jml. permukaan} = 1458\text{ W} / 42 = 34,71\text{ W}$ ,  
 sehingga  $q_s = q / (L \times B) = 34,71 / (0,6 \times 0,062) = 933\text{ W}/\text{m}^2$ .

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh

$$Ra_s = (9,8 \times 0,276 \times 10^{-3} \times 933 \times 0,00256^4) / (0,613 \times 1,47 \times 10^{-7} \times 0,832 \times 10^{-6}) = 1440$$

$$\text{Nu}_s = 0,144 [1440 (0,00256/0,6)]^{0,5} = 0,357$$

$$T_s - T_{\infty} = (q_s \times s) / (\text{Nu}_s \times k) = (933 \times 0,00256) / (0,357 \times 0,613) = 10,91\text{ K}$$

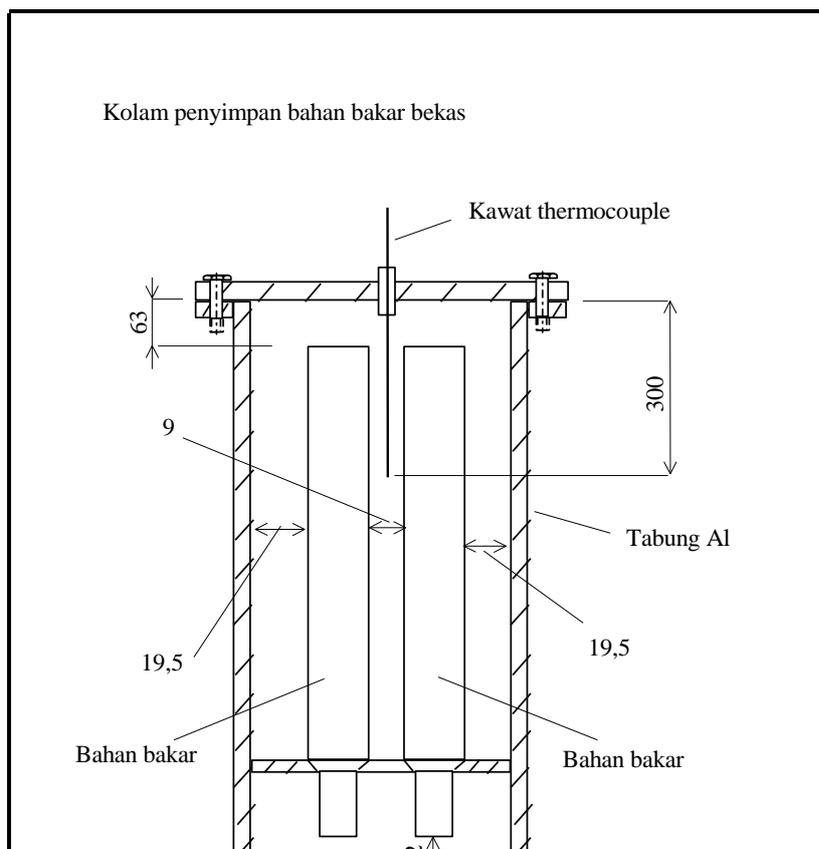
$$T_s = T_{\infty} + 10,91\text{ K} = 303 + 10,91 = 313,91\text{ K setara dengan } 41\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Dari sini diperoleh suhu air dalam sistem yang akan mengalami kenaikan maksimum sebesar  $10,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Untuk meyakinkan hal tersebut telah dilakukan percobaan pengukuran suhu air dalam tabung aluminium yang berisi 2 bundel bahan bakar aktif

dengan burn up masing-masing mendekati 56 %. Tabung tersebut mempunyai bentuk dan dimensi serupa dengan bentuk dan dimensi rancangan tabung sistem (lihat Gambar 4). Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran suhu air dalam tabung

$t_1$ (jam)	$t_2$ (jam)	T ( $^{\circ}$ C)	$\Delta T$ ( $^{\circ}$ C)	KETERANGAN
49	0,5	36,2	8,4	Suhu awal air dalam tabung = 27,8 $^{\circ}$ C $t_1$ = Selang waktu kedua bahan bakar setelah iradiasi $t_2$ = Waktu tinggal kedua bahan bakar di dalam tabung T = Suhu air dalam tabung $\Delta T$ = Kenaikan suhu air dalam tabung
49,5	1,0	39,1	11,3	
52	3,5	39,1	11,3	
53	4,5	38,9	11,1	
55	6,5	38,9	11,1	
56	7,5	38,7	10,9	
60	11,5	38,6	10,8	
68	19,5	37,7	9,9	
80	31,5	36,4	8,6	



### **3.2. Perhitungan kekuatan komponen**

Komponen sistem pengungkuh berupa penutup sistem (lihat lampiran 2), tabung sistem (lihat lampiran 3) dan dudukan bahan bakar (lihat lampiran 4). Untuk menentukan dimensi komponen yang mampu menahan beban dengan aman perlu ditentukan besar beban rancangan P. Harga P ditentukan melalui perhitungan berdasarkan rapat massa dan volume bahan pembentuk sistem serta muatan sistem berupa air dan 2 bundel bahan bakar. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa Berat mati sistem = 29,7 kg, berat air dalam sistem = 33,75 kg, dan berat dua bundel bahan bakar = 14 kg. Jadi beban rancangan P = 29,7 kg + 33,73 kg + 14 kg = 77,45 kg setara dengan  $77,45 \text{ kg} \times 2,207 \text{ lb/kg} = 171 \text{ lb}$ . Beban ini berupa gaya berat yang akan bekerja pada saat penanganan bongkar-pasang sistem dari/ke dalam lokasi penyimpanan sistem tersebut.

#### **3.2.1. Penutup sistem**

Komponen penutup sistem yang menerima beban adalah tangkai pengait, pelat penyangga tangkai pengait dan 6 buah baut pengikat. Beban tangkai pengait berupa momen lengkung, beban pelat penyangga batang pengait berupa tegangan geser pada sepanjang sambungan las antara permukaan piringan dengan sisi bawah pelat penyangga dan beban keenam baut pengikat berupa tegangan tarik aksial akibat beban P. Nilai dimensi ketiga jenis komponen tersebut dinyatakan aman karena telah ditentukan dengan nilai yang lebih besar dari nilai hasil perhitungan berikut ini.

**3.2.2. Tangkai pengait**

Bahan tangkai pengait ditetapkan berupa batangan baja stainless steel (pejal) dengan panjang  $L = 75 \text{ mm}$  (lihat gambar 5). Melalui persamaan (3) dan (4) diperoleh persyaratan ukuran D. Beban batang pengait berupa momen lengkung pada saat pengangkatan dan penurunan sistem dari/ke lokasi penyimpanan sehingga berlaku persamaan :

$$\sigma_{lk} \geq M_{lk} / [(1/5)D^3] \tag{3}$$

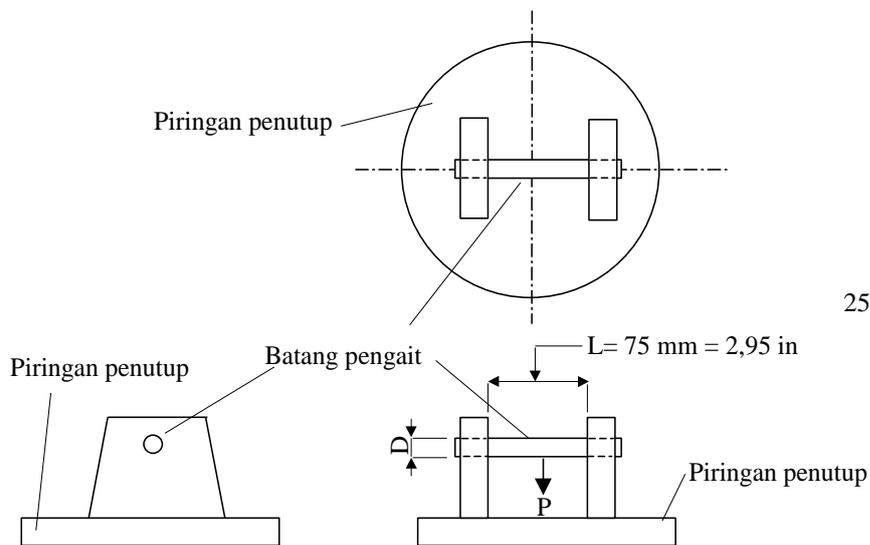
$$M_{lk} = (1/2)L \times P \tag{4}$$

Keterangan :  $\sigma_{lk}$  = Tegangan lengkung yang diijinkan (baja ss = 52500 lb/in<sup>2</sup>)

$M_{lk}$  = Momen lengkung (lb in)

D = Diameter batang pengait (in)

P = Gaya berat sistem = 171 lb



Gambar. 5 Tangkai pengait

Dari persamaan (4) diperoleh :

$$M_{lk} = (1/2) L \times P = (1/2) \times 2,95 \times 171 = 252,225 \text{ lb in}$$

Dari persamaan (3) diperoleh

$$D \geq [(5 \times M_{lk}) / \sigma_{lk}]^{1/3} = [(5 \times 252,225) / 52500]^{1/3}$$

$$D \geq 0,29 \text{ in} \text{ atau } D \geq 7,37 \text{ mm}$$

Untuk mengantisipasi adanya kemungkinan beban sesaat takterduga diambil harga faktor keselamatan  $k = 1,666$  (untuk kategori safety class) sehingga harga  $D$  menjadi

$$D \geq 0,29 \text{ in} \times 1,666 \geq 0,483 \text{ in} \geq 12,28 \text{ mm}$$

Harga  $D$  rancangan ditentukan sebesar  $0,5 \text{ in}$  atau  $12,70 \text{ mm}$ .

### 3.2.3. Pelat penyangga batang pengait

Pelat penyangga batang pengait berupa 2 buah pelat aluminium dengan ketebalan 16 mm berbentuk trapesium, bagian alasnya dihubungkan dengan permukaan piringan penutup sistem menggunakan las aluminium (lihat ilustrasi pada gambar 6). Beban sambungan las berupa tegangan geser. Ukuran ketebalan kampuh lasan didekati melalui persamaan (5).

$$P \leq (\sigma_{geser} \times L \times t) / N \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

P = Gaya berat sistem (171 lb)

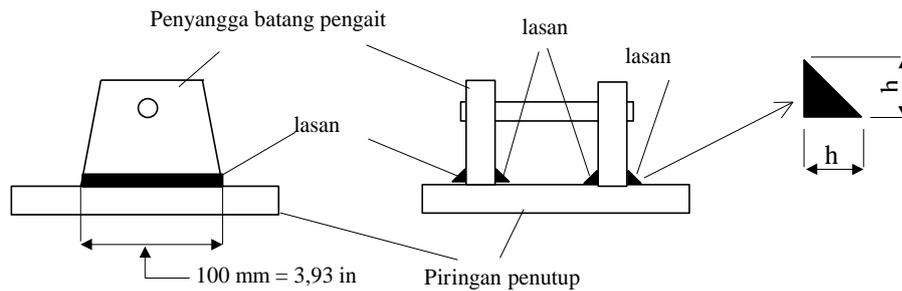
$\sigma_{geser}$  = Tegangan geser pada sambungan las =  $(2/3) \times \sigma = 12000 \text{ lb/in}^2$

$\sigma$  = Tegangan yang diijinkan (untuk las Al =  $18000 \text{ lb/in}^2$ )

L = Panjang lasan = 4 sisi x 3,93 in = 15,72 in

t = Tebal lasan = 0,703 h (h = tinggi lasan dalam in)

N = Angka keamanan = 2



Gbr 6 . Pelat penyangga batang pengait

Dari persamaan (5) didapat :

$$t \geq (P \times N) / (\sigma_{geser} \times L) \geq (171 \times 2) / (12000 \times 15,72)$$

$$t \geq 0,002 \text{ in,} \quad \text{atau} \quad t \geq 0,06 \text{ mm}$$

Tinggi kampuh lasan h pada rancangan ditentukan  $\geq 5 \text{ mm}$  atau

$$t \geq 0,703 \times 5 \text{ mm} \geq 3,5 \text{ mm} \text{ atau } t \geq 0,138 \text{ in}$$

### 3.2.4. Baut pengikat

Jumlah baut pengikat = 6 buah (terbuat dari baja ss), beban baut-baut tersebut berupa tegangan tarik aksial dan dipilih jenis ulir baut metris. Untuk menentukan persyaratan harga diameter luar ulir baut d digunakan persamaan (6).

$$\sigma \geq w / [(\pi/4) \times (0,64 d^2)] \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan tarik yang diijinkan (uuntuk baja = 3,2 kg/mm<sup>2</sup>).

d = Diameter luar ulir baut (mm)

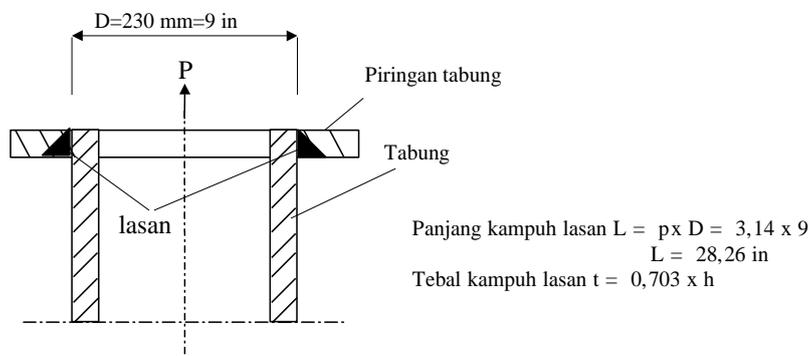
w = beban tiap baut = P/6 = 77,45 kg/6  $\cong$  13 kg

$d \geq [(4 \times w) / (\pi \times \sigma \times 0,64)]^{0,5} \geq [(4 \times 13) / (\pi \times 3,2 \times 0,64)]^{0,5}$

$d \geq 2,85$  mm (pada rancangan harga d = 10 mm)

### 3.3.1. Tabung sistem

Komponen tabung sistem (dari bahan Al) yang menderita beban adalah sambungan las antara piringan tabung dengan tabung berupa tegangan geser (lihat gambar 7).



Gambar. 7 Sambungan komponen tabung

Dari persamaan (5)

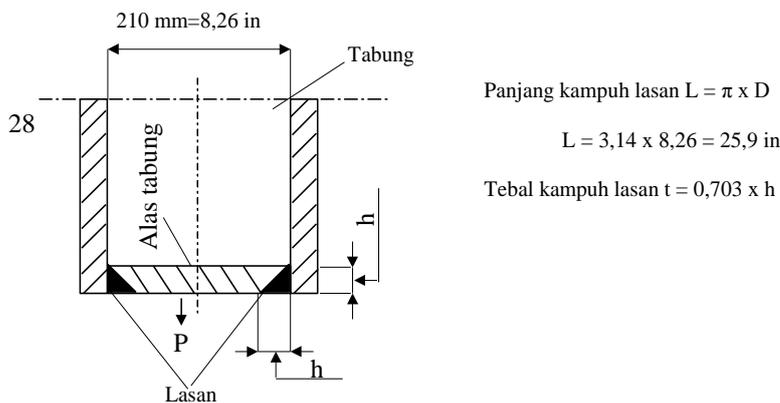
$$t \geq (P \times N) / (\sigma_{\text{geser}} \times L), \quad t \geq (171 \times 2) / (12000 \times 28,26)$$

$$t \geq 0,001 \text{ in}, \quad \text{atau} \quad t \geq 0,03 \text{ mm}$$

Pada rancangan ditentukan  $t \geq 3,5$  mm atau  $t \geq 0,138$  in.

### 3.3.2. Dudukan bahan bakar

Komponen dudukan bahan bakar yang menderita beban adalah sambungan las antara pelat penyangga dudukan bahan bakar(alas tabung) dengan dinding dalam tabung bagian bawah (lihat gambar 8).



Gambar. 8 Sambungan pada alas tabung

Dari persamaan (5)

$$t \geq (P \times N) / (\sigma_{geser} \times L) \geq (171 \times 2) / (12000 \times 25,9)$$

$$t \geq 0,001 \text{ in} \geq 0,036 \text{ mm.}$$

Pada rancangan ditentukan harga  $t \geq 3,5 \text{ mm}$  atau  $\geq 0,138 \text{ in}$ .

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu air dalam sistem mengalami kenaikan sebesar  $11,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  setelah 1 jam kedua bahan bakar berada dalam tabung, dan 2,5 jam kemudian suhu air tersebut mengalami penurunan. Hal ini menandakan adanya aliran panas dari bahan bakar ke luar sistem sehingga tidak terjadi penumpukan panas dalam sistem yang dapat membahayakan integritas bahan bakar yang berada di dalamnya. ukuran komponen penutup sistem (lihat lampiran 2) yang menderita beban yaitu batang pengait, pelat penyangga batang pengait dan keenam baut pengikat telah ditentukan dengan harga lebih besar dari harga minimum hasil perhitungan.

Ukuran diameter batang pengait yang telah ditentukan sebesar 12,7 mm, panjang  $L = 75 \text{ mm}$  dan terbuat dari baja pejal SS berdasarkan persamaan (3) dan (4) mampu menahan beban maksimum 403,55 kg sedangkan beban yang ada hanya 77,45 kg. Melalui persamaan (6), ukuran baut pengikat jenis M-10 yang berdiameter ulir luar = 10 mm dapat diketahui bahwa keenam baut tersebut mampu menahan beban sebesar 1447 kg. Beban pelat penyangga batang pengait akan bertumpu pada sambungan las.

Beban sejenis ini berlaku untuk sambungan-sambungan pada komponen lain pada lampiran 3 dan 4.

Pada gambar teknis telah ditentukan tinggi lasan minimum  $h = 5$  mm atau tebal lasan minimum  $t = 3,5$  mm. Ukuran lasan tersebut jauh lebih besar dari ukuran minimum hasil perhitungan pada bab III, sehingga berdasarkan persamaan (5) sambungan-sambungan las pada sistem pengungkung bahan bakar akan mampu menahan beban maksimum yang ada.

## **5. KESIMPULAN**

Dari uraian-uraian yang dikemukakan di atas dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Rancangan yang diajukan mampu terhadap beban yang timbul;
- 2) Rancangan sistem pengungkung bahan bakar mampu mengalirkan panas bahan bakar ke luar sistem;
- 3) Rancangan yang diajukan dapat direalisasikan.

## **VI. DAFTAR PUSTAKA**

- 1) ANONIMOUS, BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL, Multipurpose Reactor GA. Siwabessy, Safety Analysis Report Rev. 8, Volume 2, Copy no. 9, March 1999;
- 2) FRANK P. INCROPERA & DAVID P. De WITT, Introduction to Heat Transfer, Third Edition, John Wiley & Sons Inc.;
- 3) AARON D DEUTSCHMAN, WALTER J. MICHELS and CHARLES E. WILSON, Machine Design, Theory and Practice;

- 4) IR. SULARSO, MS ME dan KIYOKATSU SUGA, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Cet. 7, Gramedia, Jakarta 1993.