

## ANALISIS TEGANGAN STATIK PADA GRID PLATE REAKTOR TRIGA PELAT

Petrus Zacharias, Putut Hery Setiawan, Muhammad Ganjar Putra  
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN  
Gedung 71, Kawasan PUSPIPEK Serpong, Tangerang Selatan 15314  
[petza@batan.go.id](mailto:petza@batan.go.id)

### ABSTRAK

**ANALISIS TEGANGAN STATIK PADA GRID PLATE REAKTOR TRIGA PELAT.** Bahan bakar reaktor riset Bandung akan diubah dari bentuk pelet uranium zirconium hydride Triga Mark II ke tipe pelat  $U_3Si_2$ -Al seperti yang digunakan pada RSG-GAS. Karena geometri dan dimensi bundel bahan bakar pelat berbeda dengan Triga Mark II, maka grid plate harus didesain ulang, tapi harus sesuai dengan kondisi eksisting teras reaktor. Dari hasil desain ini dilakukan analisis tegangan akibat beban statik yang diterima grid plate dengan menggunakan prosedur analisis circular perforated area Article A-8000 ASME Section III 2004. Untuk menggunakan metode ini, grid plate diasumsikan sebagai circular perforated flat plate, kemudian dianalisis dengan menggunakan konsep equivalent solid plate. Konsep ini memodifikasi nilai konstanta elastik bahan untuk menggantikan konstanta elastik bahan grid plate. Dengan konstanta baru ini, analisis tegangan dilakukan berdasarkan konsep teori klasik pelat. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada grid plate sebesar 48,123 KPa, nilai ini jauh lebih rendah dari nilai tegangan yang diijinkan yaitu 165,5 MPa. Demikian juga dengan defleksi maksimum yang terjadi yaitu 0,0004 mm, nilai ini juga lebih kecil dari nilai defleksi yang diijinkan yaitu 0,00585 mm. Dengan demikian desain grid plate ini memenuhi syarat aman.

Kata kunci : Grid plate, circular perforated flat plate, tegangan maksimum, defleksi maksimum.

### ABSTRACT

**A STATIC STRESS ANALYSIS ON GRID PLATE OF TRIGA PLATE RESEARCH REACTOR.** The fuel of the Bandung research reactor will be changed from the pellet of uranium zirconium hydride Triga Mark II to the  $U_3Si_2$ -Al plate type as used in RSG-GAS. Because the geometry and dimensions of the plate fuel bundle are different from Triga Mark II, then the grid plate must be redesigned, but it must be following the existing conditions of the reactor core. From the result of the design, an analysis due to static loads received by the grid plate is implemented using a circular perforated area analysis procedure Article A-8000 ASME Section III 2004. To use this method, the grid plate is assumed to be a circular perforated flat plate, then analyzed using the equivalent solid plate concept. This concept modifies the elastic value of the material to replace the elastic constant of the grid plate material. The analysis shows that the maximum stress that occurs on the grid plate is 48.123 KPa, this value is much lower than the allowable stress value that is 165.5 MPa. Likewise, the maximum deflection that occurs is 0.0004 mm, this value is also smaller than the allowable deflection value of 0.00585 mm. Thus this grid plate design meets safety requirements.

Key words: Grid plate, circular perforated flat plate, maximum stress, maximum deflection

## 1. PENDAHULUAN

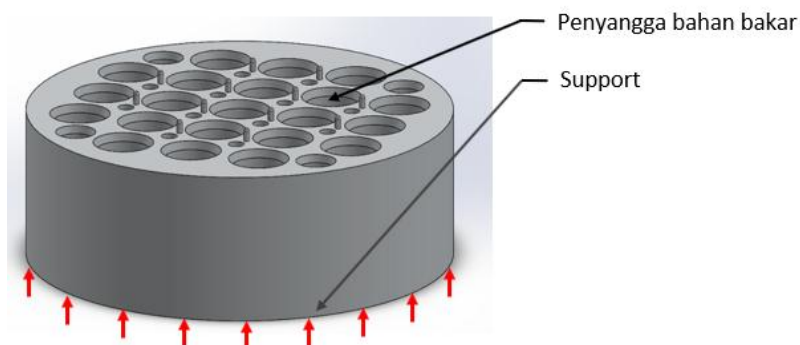
Reaktor riset Bandung adalah reaktor Triga yang dibuat oleh *General Atomics* yang menggunakan bahan bakar *uranium zirconium hydride* (UZrH) berbentuk pelet. Operasi reaktor ini untuk beberapa tahun ke depan akan mendapat kendala karena bahan bakar jenis ini sudah tidak diproduksi. Oleh karena itu, untuk keberlangsungan

operasi reaktor riset Bandung, Batan telah melakukan kegiatan mengkonversi tipe bahan bakarnya. Bahan bakar yang dipilih adalah bahan bakar tipe pelat  $U_3Si_2-Al$  seperti yang digunakan pada RSG-GAS yang sudah diproduksi di dalam negeri. Konversi ini akan berdampak pada perubahan sebagian besar komponen mekanik di dalam teras yang berhubungan dengan bahan bakar. Karena dimensi, geometri dan berat bahan bakar tipe pelat berbeda dengan tipe bahan bakar Triga Mark II yang biasa digunakan pada reaktor Bandung. Salah satu peralatan/komponen yang harus didesain ulang untuk menggantikan yang lama adalah *grid plate* yang merupakan tempat duduk bahan bakar di dalam teras. Bahan bakar diletakkan dengan posisi berdiri (vertikal) pada *grid plate*, ujung bawah (*end fitting*) bundel bahan bakarmasuk ke dalam lubang *grid plate*, sehingga memungkinkannya berdiri. Lubang – lubang pada *grid plate* mengikuti pola konfigurasi bahan bakar dan batang elemen kendali di dalam teras.

Desain *grid plate* untuk bahan bakar Triga pelat dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi *existing* teras dan bundel bahan bakar pelat, sementara material *grid plate* tetap menggunakan AL6061 T6. *Grid plate* didesain dengan mengikuti konfigurasi teras 5 x 5, konfigurasi ini memuat maksimum 16 bundel bahan bakar pelat, 4 posisi elemen kendali, dan 5 posisi untuk fasilitas iradiasi<sup>1)</sup>. Hasil desain ini kemudian dianalisis dengan menggunakan beban tertentu yang diterima oleh *grid plate* selama operasi reaktor.

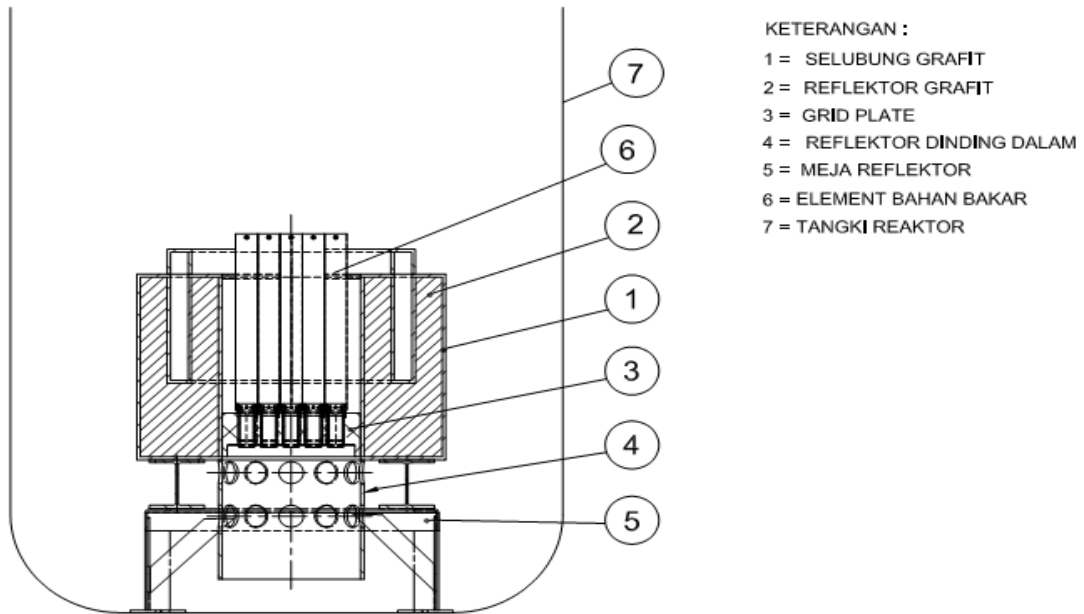
## 2. DASAR TEORI

*Grid plate* yang digunakan sebagai tempat dudukan bahan bakar Triga pelat dapat dipandang sebagai *circular perforated flat plate*, yaitu pelat datar, permukaan rata berlubang banyak dengan penampang lingkaran. *Grid plate* (Gambar 1) ditempatkan dalam teras reaktor seperti tampak pada Gambar 2. Untuk penyederhanaan analisis, asumsi berikut ini harus dipenuhi. Pada permukaan pelat bekerja beban normal yang tidak menimbulkan deformasi aksial. Pelat memiliki tebal yang sama. Beban tidak akan menimbulkan tegangan yang melebihi batas elastiknya dan lendutan (defleksi) yang terjadi nilainya tidak melebihi  $\frac{1}{2}$  dari tebal pelat.



Gambar 1. *Grid Plate*

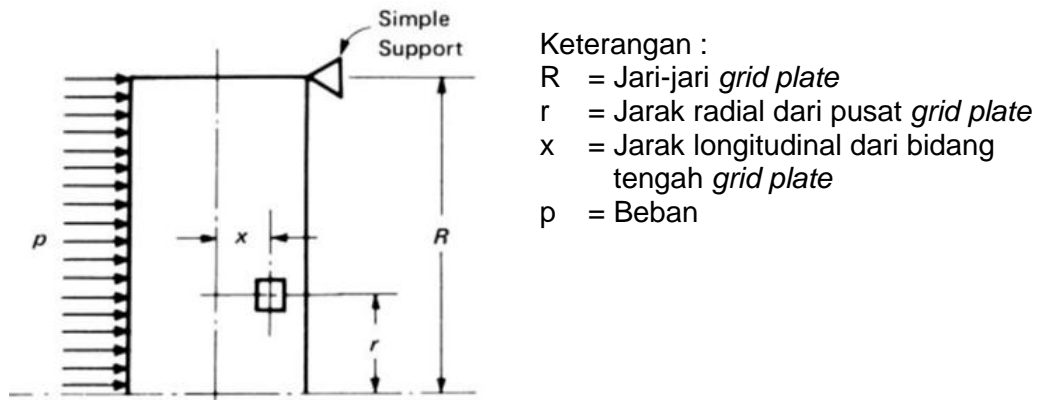
Metode analisis untuk *grid plate* mengikuti prosedur analisis *circular perforated area Article A-8000 ASME Section III 2004*. Dengan metode ini, konsep *circular perforated flat plate* (*grid plate*) digantikan oleh konsep *equivalent solid state* yang dimensi dan geometrinya similar dengan *grid plate*. Konsep ini memodifikasi nilai konstanta elastik berdasarkan *Figure 8131-1 Article A-8000*. Selanjutnya, perhitungan deformasi dan tegangan menggunakan persamaan konvensional pelat.



- KETERANGAN :
- 1 = SELUBUNG GRAFIT
  - 2 = REFLEKTOR GRAFIT
  - 3 = GRID PLATE
  - 4 = REFLEKTOR DINDING DALAM
  - 5 = MEJA REFLEKTOR
  - 6 = ELEMENT BAHAN BAKAR
  - 7 = TANGKI REAKTOR

Gambar 2. Posisi *grid plate* di dalam teras reaktor.

Di dalam teras, semua penyangga/pemegang *grid plate* dipasang pada sisi ujung lingkaran (daerah rim *grid plate*) dan untuk penyederhanaan dianggap sebagai *edge simply supported*, dan beban dianggap terdistribusi merata, seperti tampak pada Gambar 3<sup>2)</sup>.



- Keterangan :
- R = Jari-jari *grid plate*
  - r = Jarak radial dari pusat *grid plate*
  - x = Jarak longitudinal dari bidang tengah *grid plate*
  - p = Beban

Gambar 3. *Circular flat plate* dengan beban merata dan *edge simply supported*

Dengan menggantikan *grid plate* dengan *equivalent solid state*, tegangan tekuk arah radial ( $\sigma_r$ ) di setiap posisi x dan r adalah :

$$\sigma_r = p \frac{3x}{4t^3} [(3 + \nu)(R^2 - r^2)] \dots\dots\dots (1)$$

- Keterangan :
- T = tebal pelat
  - $\nu$  = Poisson's ratio

Besar tegangan maksimum dipusat *grid plate* ( $r = 0, x = \frac{1}{2} t$ ),  $\sigma_m$

$$\sigma_m = \frac{3(3+\nu)pR^2}{8t^2} \dots\dots\dots (2)$$

Lendutan (defleksi) maksimum ( $y_m$ ) yang terjadi di pusat pelat<sup>3)</sup> adalah :

$$y_m = \frac{(5+\nu)pR^4}{64(1+\nu)D} \dots\dots\dots (3)$$

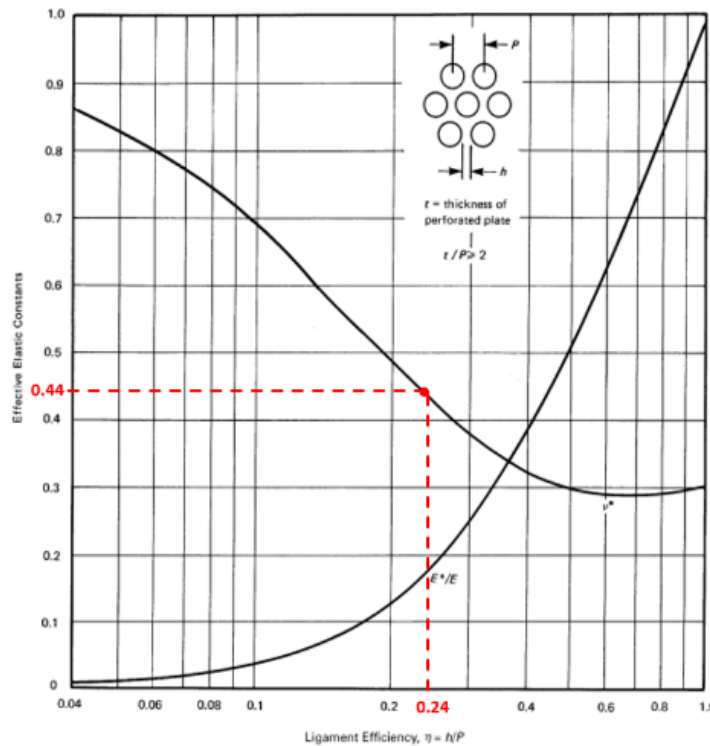
Dimana D (*flexular rigidity*) =  $\frac{Et^3}{12x(1-\nu^2)}$  ..... (4)

*E* = modulus elatisitas N/m<sup>2</sup>

**3. TATA KERJA**

**3.1 Perhitungan penentuan nilai konstanta elastik untuk *equivalent solid state*.**

Sesuai dengan Persamaan (2), (3), dan (4), nilai konstanta elastik *equivalent solid state* yang perlu ditentukan adalah nilai *Poisson's ratio* (*ν*). Penentuannya menggunakan Gambar 4 (*Figure 8131-1* untuk *circular perforated area Article A-8000 ASME Section III 2004*).



Gambar 4. Efisiensi ligament terhadap *Effective elastic Constant*

Data *Pich* dari *grid plate* yang digunakan adalah:

P = 81 mm  
h = 20 mm

sehingga efisiensi *ligament* (*η*), adalah :

$$\eta = h/p$$

$$\eta = 20/81 = 0,246$$

Dari Gambar 4 diatas untuk *η* = 0,246 dapat dibaca bahwa nilai *poisson's ratio* (*ν*) untuk *equivalent solid state* adalah 0,44.

### 3.2. Perhitungan Tegangan dan Lendutan *Grid plate*

#### 3.2.1. Spesifikasi Teknis *Grid plate*

- Geometri = *Circular perforated flat plate*
- Diameter = 504,6 mm
- Diameter lubang = 61,1 mm
- Jumlah lubang = 21
- Tebal/tinggi = 178 mm (termasuk Rim)
- Tebal/ tinggi = 127 mm ( tidak termasuk Rim)
- Pitch = 1. P = 81 mm dan h = 20 mm  
2. P = 77,1 mm dan h = 16 mm
- Berat = 48,93 Kg
- Material = Al 6061 T6
- *Yield Strength* ( $\sigma_y$ ) = 276 Mpa
- *Ultimate Tensile Strength* = 310 MPa
- Modulus Elastisitas = 68,9 GPa

#### 3.2.2. Asumsi

1. Berat beban total adalah berat seluruh bundel elemen bahan bakar yang tertumpu pada tiap lubang *grid plate*.

Berat total bundel elemen bahan bakar = 6 kg x 21 = 126 Kg .

Pembebanan yang terjadi adalah  $P = 9450 \text{ N/m}^2$

2. *Grid plate* dikatakan aman apabila tegangan yang terjadi pada *grid plate* tidak melebihi tegangan izin material penyusun *grid plate*.

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Izin} &= 90\% \times \frac{2}{3} \sigma_y \\ &= 165,6 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

3. *Grid plate* diasumsikan sebagai *Circular perforated flat plate* menurut ASME 2004 section III Article A- 8000.
4. Batas lendutan/defleksi maksimum yang diperbolehkan adalah 50% dari *clearance* antara *end fitting* dan dinding dalam lubang *grid plate*, yaitu  $0,5 \times 0,0117 \text{ mm} = 0,00585 \text{ mm}$ .

Tegangan maksimum yang terjadi di titik pusat *grid plate* ( $\sigma_m$ ) dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut.

$$\sigma_m = \frac{3(3+\nu)pR^2}{8t^2}$$

Diketahui,

$$R = 0.2523 \text{ m}$$

$$p = 9450 \text{ N/m}^2$$

$$\nu = 0.44 \text{ ( equivalent solid state)}$$

$$t = 0,127 \text{ m}$$

Nilai tegangan maksimum di pusat *grid plate* adalah :

$$\sigma_m = 48123,41 \text{ N/m}^2$$

Lendutan maksimum terjadi di titik pusat *grid plate* ( $y_m$ ) dihitung berdasarkan Persamaan (3) berikut.

$$y_m = \frac{(5 + \nu)pR^4}{64(1 + \nu)D}$$

Diketahui,

$$E = \text{modulus elatisitas N/m}^2$$

$$E = 68,9 \text{ GPa}$$

$$E = 68900000000 \text{ N/m}^2$$

$$D = \frac{E t^3}{12 x (1 - \nu^2)}$$

$$D = 14584737,59 \text{ Nm}$$

Didapat

$$y_m = \frac{(5 + \nu)pR^4}{64(1 + \nu)D}$$

$$y_m = 3,98504 \cdot E - 7 \text{ m}$$

$$y_m = 0,0004 \text{ mm}$$

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan tegangan pada *grid plate* dilakukan dengan suatu pendekatan bahwa sebuah *grid plate* adalah sebuah *circular perforated flat plate*. Berdasarkan *ASME BPVC Section III2004Article A- 8000*, analisis terhadap *circular perforated flat plate* dilakukan dengan menggunakan konsep *equivalent solid state*, yaitu *circular perforated flat plate* digantikan oleh *equivalent solid state*. Konsep ini memodifikasi nilai konstanta elastik material *grid plate* berdasarkan Gambar 4 (*Figure 8131-1 Article A-8000*). *Grid plate* menerima beban yang merata pada permukaan dan ditopang secara *edge simply supported*, sehingga tegangan terbesar terjadi di pusat *grid plate*, yaitu tegangan tekuk di bagian bawah pelat. Dari hasil perhitungan didapat nilai tegangan yang terjadi di pusat *grid plate* adalah 48,123KPa, sedangkan tegangan izin material adalah 165,6 Mpa. Dengan demikian, desain *grid plate* ini sangat aman, dan beban tidak menimbulkan tegangan yang melebihi batas elastiknya.

Besar nilai faktor keselamatan adalah :

$$S_f = \frac{\text{Tegangan izin}}{\text{Tegangan yang terjadi}}$$

$$S_f = 3441 \text{ (sangat aman).}$$

Jika dibandingkan dengan *edge clamped supported* atau lainnya, nilai tegangan yang terjadi dipastikan lebih kecil dari nilai tegangan yang menggunakan *edge simply supported*. Defleksi maksimum juga terjadi di pusat *grid plate*, yaitu sebesar 0,0004 mm. Nilai ini jauh lebih kecil dari nilai defleksi maksimum yang diperbolehkan, yaitu 0,00585 mm. Selain itu, defleksi yang terjadi (0,0004 mm) nilainya juga jauh lebih kecil dari setengah tebal *grid plate* ( $t = 127 \text{ mm}$ ), sehingga memenuhi persyaratan penggunaan rumus-rumus di atas. Besar nilai defleksi harus dibatasi tidak lebih dari nilai yang diperbolehkan, karena untuk mencegah *end fitting* bundel bahan bakar dan batang kendali terjepit dalam lubang *grid plate* akibat perubahan geometri lubang. Sehingga tidak mengganggu proses bongkar-muat bundel bahan bakar dan insersi batang kendali.

Metode analisis tegangan untuk *perforated flat plate* ini hanya memperhitungkan tegangan akibat pembebanan langsung pada permukaan *grid plate*. Parameter lain yang mungkin dapat mempengaruhi performa *grid plate* seperti laju aliran fluida pendingin dan radiasi dalam teras belum diperhitungkan. Desain *grid plate* ini selain dipengaruhi faktor faktor di atas, juga dipengaruhi oleh kondisi eksisting di dalam teras reaktor, sehingga menentukan geometri dan dimensi *grid plate*.

#### 5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi akibat pembebanan pada *grid plate* menunjukkan bahwa desain *grid plate* sangat aman.

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 48,123 KPa sedangkan tegangan izin material *grid plate* 165,5 MPa, nilainya jauh lebih kecil dari batas yang diijinkan. Demikian juga dengan defleksi maksimum yang terjadi sebesar 0,0004 mm sedangkan nilai defleksi yang diperbolehkan yaitu 0,00585 mm. Meskipun pengaruh laju aliran fluida pendingin dan radiasi belum disertakan dalam perhitungan. Perhitungan ini hanya menunjukkan bahwa desain *grid plate* memenuhi syarat aman akibat pembebanan. Karena desain untuk dimensi dan geometri *grid plate* harus disesuaikan dengan kondisi eksisting teras reaktor Bandung.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, 2018, *Spesifikasi Teknis Konversi Reaktor Bandung*, no. dokumen R143/RN0102/SNT3, Batan.
- [2]. ASME, 2004, *ASME BPVC Section III Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Appendix A Stress Analysis Method, Article A-8000 Stresses in Perforated Flat Plates*, ASME.
- [3]. Warren C. Young, Richard G. Budynas, 2002, *Roark's Formulas for Stress and Strain*, seventh edition, MCGraw-Hill, New York.
- [4]. Myung Jo Jhung, Young Hwan Choi, Yong Ho Ryu, 2009, *Equivalent Material Properties of Perforated Structure for Free Vibration Analysis*, 20 th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Espoo, Finland.