

## PENGARUH DISKONTINUITAS STRUKTUR PADA DISTRIBUSI TEGANGAN PADA DESAIN RPV

**Anni Rahmat dan Roziq Himawan**

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) - BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Gd. No. 80 Serpong, Tangerang Selatan 15310

e-mail: [ar298@batan.go.id](mailto:ar298@batan.go.id)

### ABSTRAK

**PENGARUH DISKONTINUITAS STRUKTUR TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN PADA DESAIN RPV.** Telah dilakukan analisis pengaruh gross structural discontinuity terhadap distribusi tegangan, yaitu pada bagian dinding transisi dan sambungan beltline bagian bawah bejana tekan reaktor. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan bantuan perangkat lunak Marc Mentat 2010. Input berupa tekanan dalam sebesar 20 MPa diberikan pada permukaan bagian dalam. Dari hasil analisis kedua buah model diperoleh hasil bahwa tegangan tertinggi terletak pada node yang mengalami gross structural discontinuity. Untuk sambungan beltline diperoleh tegangan maksimal 300 MPa sedangkan pada dinding transisi diperoleh tegangan senilai 150 MPa. Pola distribusi intensitas tegangan berangsur turun sebanding dengan jarak node gross structural discontinuity.

**Kata kunci:** bejana tekan reaktor, Marc Mentat, *Gross Structural Discontinuity*

### ABSTRACT

**GROSS STRUCTURAL DISCONTINUITY EFFECT FOR STRESS DISTRIBUTION IN BOTTOM BELTLINE JOINT AND WALL TRANSITION RPV.** Analysis of gross structural discontinuity effect for stress distribution on transition wall and joint of bottom beltline pressure vessel reactor have been carried out. Analysis were performed using finite element method by Marc Mentat 2010. For input stress in form internal pressure 20 MPa is given in the inner surface of model. From the result of analysis of both piece of model the highest stress occur in gross structural discontinuity node. For beltline joint, obtained maximum stress is 300 MPa and transition wall 150 MPa. The pattern of distribution of stress intensity gradually decrease with distance of gross structural discontinuity node.

**Keywords:** reactor pressure vessel, Marc Mentat, *Gross Structural Discontinuity*

## 1. PENDAHULUAN

Desain struktur bejana tekan reaktor memiliki bentuk geometri yang beragam. Pada beberapa bagian terdapat daerah yang memiliki geometri atau material diskontinuitas yang dapat mempengaruhi distribusi tegangan atau regangan yang melintang di suatu ketebalan dinding pada area dengan ukuran yang signifikan atau relatif besar (*gross structural discontinuity*). Bagian yang mengalami *gross structural discontinuity* terdapat pada beberapa bagian seperti nosel, dinding transisi, sambungan *beltline* bagian bawah. Berdasarkan ASME section III terdapat beberapa area *gross structural discontinuity* yang harus dievaluasi untuk kualifikasi desain integritas struktur salah satu diantaranya adalah dinding transisi dan sambungan *beltline* bawah bagian bawah.

Selama tahun 2011 BPTKN – PTRKN melakukan analisis tegangan pada beberapa bagian bejana tekan reaktor. Analisis dilakukan berdasarkan persyaratan ASME section III. Analisis yang telah dilakukan adalah analisis tegangan pada  *housings* batang kendali,  *studbolt*,  *bottom head instrument penetration*, nosel masuk dan nosel keluar. Dari analisis yang telah dilakukan analisis pada nosel masuk dan nosel keluar telah di publikasikan pada PPI PTAPB. Secara umum analisis tegangan pada sambungan *beltline* dan dinding transisi dilakukan sesuai acuan ASME III dalam

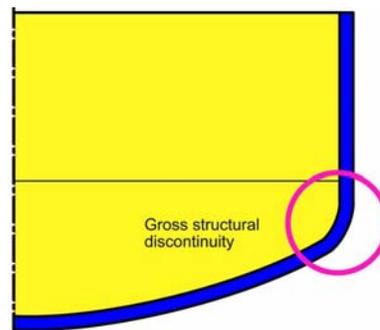
rangka evaluasi komponen bejana tekan reaktor sedangkan secara khusus hal ini dilakukan dalam rangka persiapan sumber daya manusia untuk menguasai analisis tegangan pada kondisi normal sebagai langkah awal dalam persiapan PLTN. Tujuan dari analisis tegangan ini ialah untuk mengetahui pengaruh *gross structural discontinuity* terhadap distribusi tegangan yang ada pada dua buah model yang ada serta daerah kritis sehingga dapat diketahui apakah desain telah memenuhi kriteria yang disyaratkan ASME III

Analisis tegangan dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak Marc Mentat 2010. Perhitungan tegangan dinding transisi dan sambungan *beltline* bawah dilakukan pada operasi normal yaitu dengan pemberian beban berupa tekanan internal dari dalam bejana tekan reaktor sebesar 20 MPa.

## 2. TEORI

### 2.1. *Gross Structural Discontinuity*

*Gross Structural Discontinuity (GSD)* adalah perbedaan atau perubahan baik berupa material atau geometri pada suatu desain struktur sehingga membentuk diskontinuitas<sup>[1]</sup>. *Gross structural discontinuity* dapat dikatakan faktor geometri ( $k$ ) jika material yang ada pada struktur memiliki kesamaan akan tetapi memiliki bentuk atau dimensi yang berbeda. Keberadaan *gross structural discontinuity* akan mengakibatkan distribusi suatu pembebanan yang terpengaruh faktor geometri dan material akan mengalami distribusi yang acak atau tidak teratur. Pada pembebanan karena tekanan internal intensitas tegangan tertinggi akan terjadi pada daerah kritis yaitu daerah yang membentuk sudut karena pengaruh fabrikasi seperti *fillet*, transisi perubahan ketebalan seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar1. *Gross structural discontinuity*<sup>[2]</sup> .

Pada Gambar 1 *fillet* sambungan antara dinding vertikal bejana tekan dengan bagian bawah akan membentuk sudut tertentu. Sudut pertemuan ini akan mengakibatkan resultan yang berbeda pada bagian lain sehingga akan mempengaruhi distribusi tegangan yang ada pada daerah sekitar daerah kritis.

### 2.2. Tegangan Diskontinuitas dan Batas yang Diijinkan

Besarnya intensitas tegangan yang terjadi pada dinding transisi dan sambungan *beltline* dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya sudut atau jari jari yang terbentuk dan ketebalan arah

melintang. Secara empiris besarnya tegangan dapat di nyatakan dalam bentuk Persamaan 1 dibawah ini<sup>[3]</sup>.

$$\sigma = \frac{P.r}{2h} \quad (1)$$

dimana:

$\sigma$  : Tegangan; P : *internal pressure*; r : Jari jari; h : ketebalan

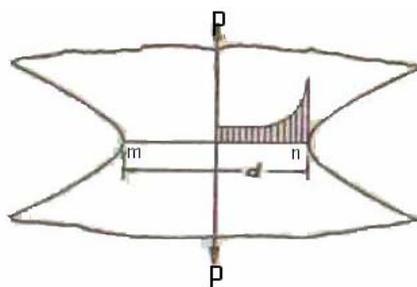
Akan tetapi pada daerah *gross structural discontinuity* intensitas tegangan akan menjadi tinggi dikarenakan adanya tegangan diskontinyuitas. Tegangan diskontinyuitas adalah tegangan yang terjadi karena adanya pengaruh *gross structural discontinuity* yaitu perbedaan material atau geometri sehingga membentuk tegangan yang menyebar bergantung dengan sudut yang terbentuk. Pada bejana tekan reaktor tegangan diskontinyuitas terjadi pada beberapa daerah seperti pada daerah dinding transisi, sambungan *beltline* bagian atas dan bawah serta sambungan nosel. Tegangan diskontinyuitas merupakan tegangan yang perlu untuk dianalisis karena tegangan ini akan menaikkan besar intensitas tegangan daerah yang mengalami tegangan diskontinyuitas serta menjadikan distribusi tegangan di sekitar daerah yang mengalami tegangan diskontinyuitas menjadi berubah.

Kenaikan intensitas tegangan pada *gross structural discontinuity* terjadi karena faktor rasio antara jari - jari yang terbentuk dengan ketebalan struktur yang ada. Pada kasus sambungan *beltline* bagian bawah reaktor dan dinding transisi akan terbentuk *grove* hiperbolik. Rasio sepanjang daerah *m* sampai dengan *n* akan membentuk tegangan maksimum sebesar<sup>[3]</sup>

$$k = \sqrt{0.8 \frac{d}{r} + 1.2} - 0.1 \quad (2)$$

$$\sigma_{dis} = k.\sigma \quad (3)$$

Dimana k adalah faktor geometri, *d* adalah tebal minimum antara *m* sampai dengan *n* , *r* adalah jari jari yang terbentuk pada *grove*. Rasio ini akan memberikan jika perbandingan antara ketinggian atau jari jari struktur induk (*h*) dengan *r* memiliki nilai 4 ( $h/r = 4$ )<sup>[3]</sup>. Jika nilai perbandingan  $h/r < 4$  maka tegangan yang ada dibawah nilai persamaan 2.



**Gambar 2.**Distribusi tegangan pada daerah *gross structural discontinuity*<sup>[3]</sup>

Dalam analisis tegangan pada komponen bejana tekan reaktor batasan tegangan yang diperbolehkan tetap harus digunakan. Pada daerah dinding transisi dan sambungan *beltline* bagian bawah tegangan maksimum yang bekerja harus dibawah dari *stress intensity* (*Sm*). *Stress intensity*

merupakan selisih terbesar tegangan prinsipal yang terjadi pada daerah yang dianalisis dalam hal ini adalah daerah *gross structural discontinuity*. Secara empiris *stress intensity* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut<sup>[1]</sup>.

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2 \quad (4)$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3 \quad (5)$$

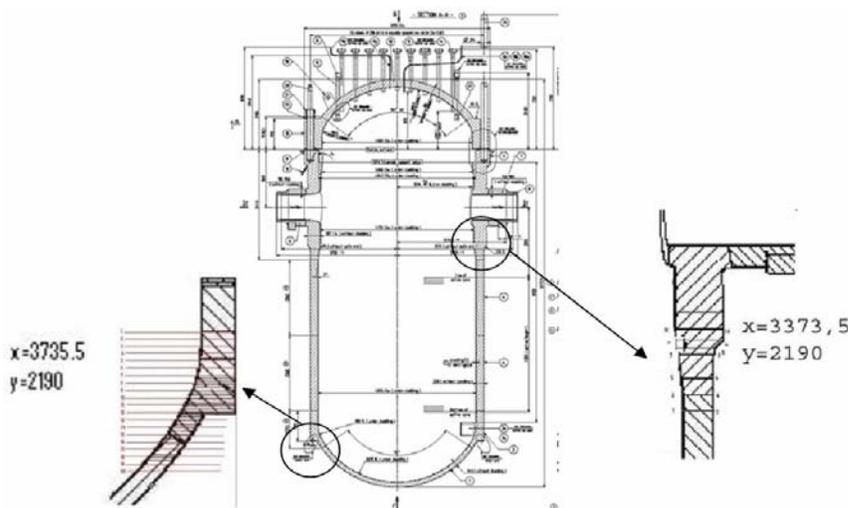
$$S_{13} = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (6)$$

dengan  $S$  adalah selisih *principal stress* pada orientasi sumbu yang dikehendaki, dimana 1 adalah sumbu x, 2 adalah sumbu y dan 3 adalah sumbu z.  $\sigma$  adalah *principal stress* pada orientasi sumbu yang dikehendaki. *Stress intensity* harus di hitung dalam setiap analisis tegangan karena menjadi tolak ukur suatu desain yang ada memenuhi integritas struktur dan dapat dinyatakan aman atau sebaliknya<sup>[1]</sup>.

### 3. METODOLOGI

#### 3.1. Pembuatan Geometri dan Pemilihan Bahan

Pada pemodelan pengaruh geometri terhadap distribusi tegangan dan deformasi pada dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor model geometri yang digunakan mengacu pada desain EPR<sup>[4]</sup>. Bentuk serta ukuran dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor didapatkan dengan cara melakukan plotting gambar dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Ambil Data/Get Data. Bentuk dan ukuran dari dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Geometri bejana tekan reaktor<sup>[4]</sup>

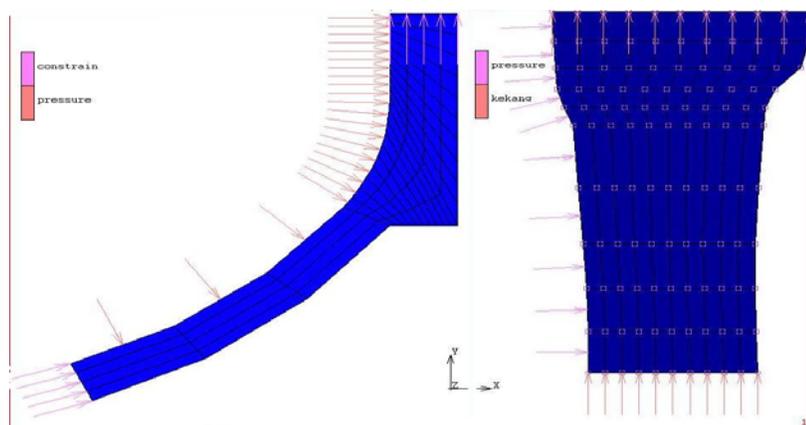
*Ferritik steel SA-508 grade 3 class 1* adalah material yang dipergunakan dalam dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor. Sifat bahan dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor seperti pada Tabel 1<sup>[5]</sup>.

**Tabel 1. Material Properties nosel masuk dan nosel keluar**

Material properties	Temperatur ( C )				
	21	93	204	316	371
Modulus Elastis E (GPa)	191	186	179	173	169
Poisson Rasio ( $\nu$ )	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Konduktivitas panas ( W/m K)	40.9	41.5	40.9	38.8	37.6
Panas Spesifik ( J/g K)	0.44	0.48	0.52	0.56	0.59
Koefisien Muai panas(1/K.10E6)	10.3	11.1	12.1	12.9	13.5

### 3.2. Pembuatan Model Elemen Hingga

Model elemen hingga adalah pembuatan geometri berupa elemen serta pemasukan data *input* dan batasan masalah. Dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor digambar dalam bentuk model dua dimensi yang sangat sederhana sesuai dengan Gambar 3. Dinding transisi terbagi atas 100 elemen 121 node dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor terbagi atas 92 elemen dan 120 node. Kedua buah model yang ada dilakukan pemotongan dimana pada node sepanjang pemotongan model dilakukan konstrain tegak lurus dengan garis potong. Tekanan internal dianalogkan dengan tegangan sepanjang *edge* yang terdapat pada elemen sepanjang dinding permukaan dalam.. Besar tegangan yang diberikan pada setiap *edge* sebesar tegangan desain yaitu 20 MPa. Jenis analisis yang digunakan dalam pemodelan ini adalah analisis struktural dengan tipe statik. Secara detail model elemen hingga untuk analisis geometri dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



**Gambar 4. Model elemen hingga dinding transisi dan sambungan *beltline***

Geometri kedua buah model terdapat pada koordinat sistem global silinder. Hal ini dilakukan untuk melakukan pendekatan pada keadaan sebenarnya bejana tekan reaktor.

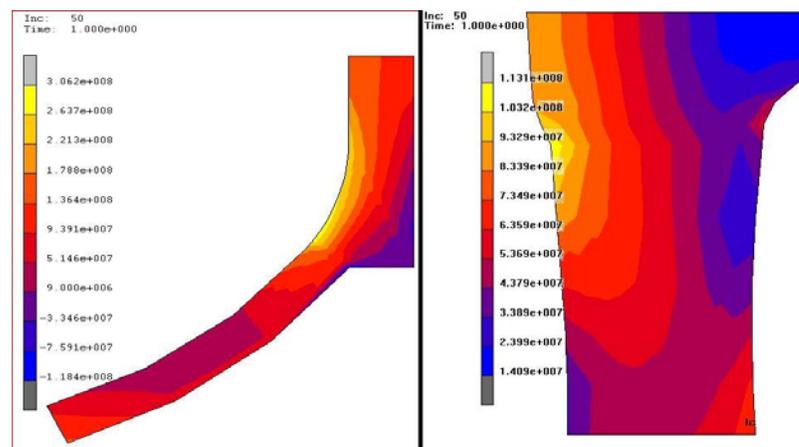
### 3.3. Analisis Data

Analisis data hasil pemodelan didasarkan pada ASME III yaitu dari distribusi tegangan dihitung tegangan primer ( $P_m$ ), tegangan bending ( $P_b$ ) dan tegangan lokal ( $P_l$ ). Persyaratan yang diperbolehkan untuk masing masing intensitas tegangan adalah  $P_m$  maksimal senilai dengan  $S_m$ ,  $P_b$  maksimal senilai 1,5  $S_m$  dan penjumlahan  $P_l$  dan  $P_b$  maksimal sama dengan 1,5  $S_m$ .

#### 4. HASIL DAN ANALISIS

Dari perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan batasan seperti yang terdapat pada metodologi, distribusi tegangan yang terjadi pada dinding transisi dan sambungan *beltline* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor seperti yang terlihat pada Gambar 5 dibawah ini.

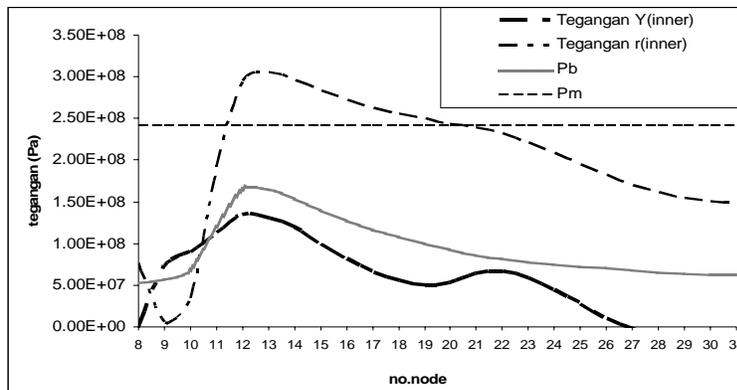
Pada Gambar 5 intensitas tegangan pada sambungan *beltline* khususnya daerah *fillet* cenderung memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang lain. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut terjadi transisi orientasi geometri yang semula berupa persegi menjadi sebuah lingkaran. Daerah transisi ini akan menghasilkan beberapa tekanan yang memiliki arah pada setiap sudut yang terbentuk sehingga akan membuat tegangan pada tiap direksi menjadi naik. Naiknya intensitas tegangan juga dikarenakan adanya kenaikan nilai radius *fillet* pada sambungan *beltline* dan bagian bawah bejana tekan reaktor. Besarnya tegangan pada daerah sambungan *beltline* yang mengalami *gross discontinuity* sebesar 300 MPa sehingga nilai tegangan pada daerah sekitar *gross discontinuity* akan mengalami kenaikan dari perhitungan semula sesuai persamaan dua yaitu 164 MPa.



Gambar 5. Distribusi tegangan (Pa) dinding transisi dan sambungan *beltline* bagian bawah

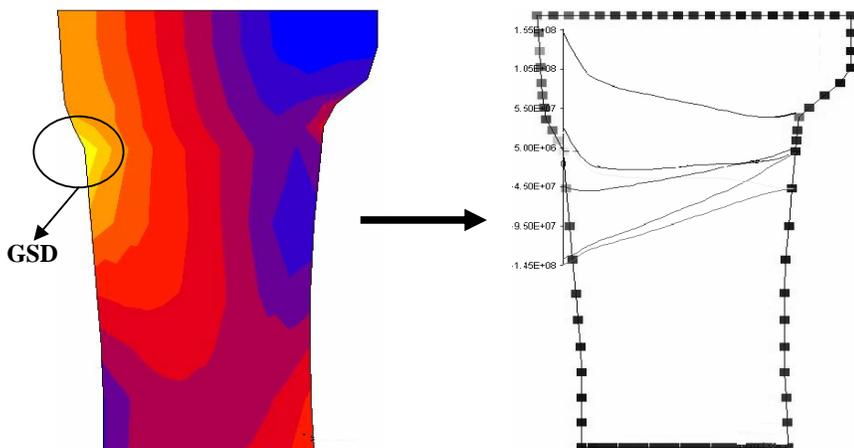
Selain tegangan pada arah radial tegangan – tegangan yang disyaratkan pada ASME III mengalami fenomena yang sama. Pada model sambungan *beltline* *gross discontinuity* terjadi pada node 12 yang mengakibatkan intensitas tertinggi terjadi pada node 12. Pada Gambar 6 dapat diketahui bahwa adanya *gross discontinuity* mengubah distribusi tegangan di sekitarnya intensitas tegangan akan naik. Untuk permukaan bagian luar terjadi tegangan yang memiliki arah berlawanan dengan tegangan yang terjadi pada permukaan bagian dalam. Distribusi tegangan pada bagian permukaan luar masih terpengaruh *gross discontinuity* pada bagian dalam.

Dari hasil pemodelan yang dilakukan besarnya  $S_m$  yang dihitung dengan persamaan 3-5 adalah 240 MPa. Sesuai dengan ASME *section III* batas nilai tegangan yang diijinkan adalah  $1,5 S_m$  sehingga dari analisis pemodelan ini tegangan yang diperbolehkan adalah 360 MPa. Dari hasil sesuai dengan pada Gambar 6 maka tegangan yang bekerja pada sambungan *beltline* masih dalam batas yang diijinkan sehingga integritas struktur masih tercapai.



Gambar 6. Kurva distribusi tegangan pada sambungan *bellline* bagian bawah

Pada dinding transisi *gross discontinuity* terjadi pada beberapa daerah dan tipe. Disamping adanya degradasi ketebalan dinding pembentukan sudut akan membuat jenis tegangan dan besar tegangan pada dinding transisi akan mengalami banyak perubahan dibandingkan dengan distribusi tegangan pada silinder yang tidak mengalami degradasi ketebalan dan pembentukan sudut. Degradasi yang terjadi akan membuat nilai tegangan menjadi lebih merata dibanding dengan distribusi tegangan pada sambungan *bellline* dengan bagian bawah. Selain itu ada pembentukan sudut pada permukaan dalam dan luar akan berdampan aksi reaksi yaitu saling meniadakan. Hal ini dikarenakan pada permukaan dalam dan permukaan luar tegangan memiliki arah yang berlawanan, sehingga akan terjadi pengurangan pada resultan tegangannya. Besarnya tegangan pada daerah *gross discontinuity* pada permukaan bagian dalam sebesar 152 MPa sedangkan pada daerah bagian luar 50 MPa.

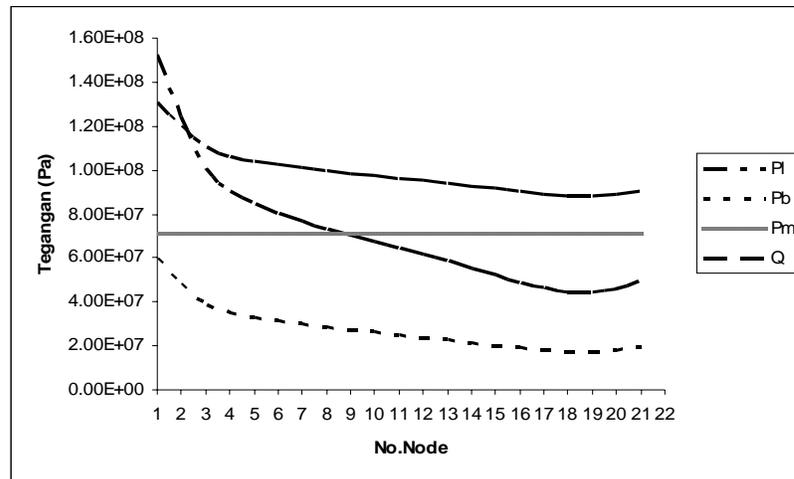


Gambar 7. Distribusi tegangan (Pa) pada *gross structural discontinuity* dinding transisi

Dari Gambar 7 intensitas tegangan tertinggi terjadi pada node yang mewakili terjadinya *gross discontinuity*. Pada ketebalan dinding transisi pola distribusi tegangan dari permukaan dalam ke permukaan luar diketahui bahwa tegangan berangsur-angsur turun. Hal ini terjadi karena tegangan pada daerah *gross discontinuity* terdapat grove hiperbolik sehingga intensitas tegangan yang terjadi dipengaruhi oleh faktor konsentrasi tegangan. Faktor konsentrasi akan membentuk tegangan

maksimal pada daerah *gross discontinuity* dinding transisi yang dipengaruhi oleh rasio antara ketebalan dengan jari - jari yang terbentuk pada node *gross discontinuity*. Pada geometri dinding transisi rasio ketebalan dan jari - jari adalah sebesar 20 mm sehingga akan menaikkan intensitas tegangan node *gross discontinuity*. Distribusi ini sesuai dengan teori yang ada seperti yang diuraikan pada dasar teori.

Untuk jenis tegangan yang disyaratkan pada ASME III yaitu Pm, Pl, Pb,Q pada daerah *gross structural discontinuity* diperoleh hasil seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Distribusi berbagai tegangan pada pembukaan dalam dinding transisi.

Untuk Sm pada dinding transisi pada model didapatkan nilai 168 MPa. Dengan melihat Gambar 8 maka tegangan pada dinding transisi masih dalam batas yang diijinkan dan masih aman karena nilai Pm kurang dari Sm, Pl kurang dari 1,5 Sm, dan Q masih dibawah Sm.

## 5. KESIMPULAN

*Gross structural discontinuity* mengakibatkan perubahan terhadap nilai dan pola distribusi tegangan. Intensitas tegangan pada node *gross structural discontinuity* mengalami kenaikan sebanding dengan faktor geometri, sedangkan untuk pola distribusi tegangan pada struktur yang mengalami *gross structural discontinuity* akan diperoleh tegangan dengan pola intensitas maksimal terjadi pada node *gross structural discontinuity* dan berangsur – angsur turun. Untuk intensitas tegangan primer, tegangan bending dan tegangan lokal intensitasnya masih dibawah batas *stress intensity* sehingga masih memenuhi kriteria integritas struktur dan keselamatan berdasarkan ASME III.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASME Section III, "Rules For Construction of Nuclear Facility Components", USA 2007.
- [2]. <http://www.personal.strath.ac.Uk>, 2010
- [3]. Stephen Timoshenko, "Strength of Material Problem and Application", USA, 2005

- [4]. Fundamental Safety Overview Vol.2 Design and Safety, “*The Reactor Coolant System and Related Systems*”, UK
- [5]. Jin-SU Kim,” *Investigation on Constraint of Reactor Pressure Vessel Under Pressurized Thermal Shock*”, school of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Korea, 2002.

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN: (Arie Kusuma, UNY)**

- Berapa error yang diijikan dalam model 2D?.

**JAWABAN: (Anni Rahmat, PTRKN-BATAN)**

- $\leq 5\%$ .

**2. PERTANYAAN: (Rizki Firmansyah SB, PPEN-BATAN)**

- Apa itu Marc Mentat (fungsi, metodologi dan outputnya)?.
- Persyaratan aman beban yang diterima bagaimana?

**JAWABAN: (Anni Rahmat, PTRKN-BATAN)**

- *Marc Mentat adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menyelesaikan masalah diskrit kontinu yang berbasis metode elemen hingga.*
- *Persyaratan sesuai ASME III,  $S_m$  menjadi parameter untuk menentukan nilai aman  $P_n \leq S_m$ .*