

## ANALISIS TEGANGAN PADA *TUBE* PEMBANGKIT UAP PLTN AKIBAT INTERAKSI DENGAN FLUIDA

Anni Rahmat ST

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir  
Kawasan Puspiptek Gd. 80 PTRKN-BATAN Serpong Tangerang  
[ar298@batan.go.id](mailto:ar298@batan.go.id)

### ABSTRAK

**ANALISIS TEGANGAN PADA *TUBE* PEMBANGKIT UAP PLTN AKIBAT INTERAKSI DENGAN FLUIDA.** Telah dilakukan simulasi interaksi fluida dan *tube* pembangkit uap PLTN PWR dengan menggunakan metode elemen hingga. Simulasi digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan pada material *tube* dalam rangka evaluasi integritas struktur material. Variasi parameter ukuran elemen  $\frac{1}{4}$ , tingkat kekasaran 0,5-1 dan toleransi 0,001-0,00001 dengan data input berupa kecepatan fluida 3.89 m/s. Dari hasil pemodelan didapatkan intensitas kecepatan tertinggi terjadi pada area penyempitan dengan kecepatan 23 m/s dan tegangan maksimum akibat dampak aliran sebesar 0,3 MPa. Intensitas tegangan pada *tube* masih berada pada batas tegangan luluh baja austenitik 250 MPa.

Kata kunci: analisis tegangan, elemen hingga, *tube* pembangkit uap

### ABSTRACT

**STRESS ANALYSIS ON THE WALL TUBE OF STEAM GENERATOR NUCLEAR POWER PLANT DUE TO FLUID INTERACTION.** Simulation of fluid-solid interaction between water and tube steam generator of PWR type nuclear power plant have been done using finite element method. This simulation is used to know stress distribution on the tube material in order to evaluate the integrity of material structure. Variation of element parameter like element size and ratio  $\frac{1}{4}$ , distance tolerance 0,5-1 and coarseness of element 0,001-0,0001 are used in solid- fluid simulation, for the input of simulation in this paper use velocity 3.89 m/s. From the simulation we get result that the intensity of the highest velocity is 23 m/s on the constriction area and the maximum stress as the result of the flow is 0,3 MPa. Conclusion for this simulation is that the intensity of the stress on the tube still on the limit stress of the austenitic steels 250 MPa .

Keyword : Strees Analysis, Finite Element, Steam Generator Tube

### PENDAHULUAN

Pembangkit uap adalah salah satu komponen utama dalam PLTN tipe PWR, uap yang dihasilkan oleh pembangkit uap di gunakan untuk memutar sudu turbin sehingga menghasilkan energi mekanik dimana energi ini akan diubah menjadi energi listrik pada tahap selanjutnya. Dalam pembangkit uap, produksi uap terjadi karena adanya proses pemanasan sehingga merubah air dari fase cair menjadi fase gas. Proses pemanasan terjadi karena adanya pertukaran panas antara panas dinding *tubing* dengan air yang ada di luar *tubing* pembangkit uap. *Tubing* pembangkit uap dalam proses fungsi pembangkit uap memiliki peran yang penting sehingga integritas strukturnya harus terjaga. Untuk mengevaluasi integritas struktur desain susunan *tubing* pembangkit uap digunakan perhitungan numerik berbasis metode elemen hingga dengan bantuan piranti lunak. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui intensitas tertinggi tegangan pada dinding luar dan dalam *tube* pembangkit uap akibat adanya aliran fluida di luar *tube*.

Pemodelan ini menggunakan input laju alir fluida yang berada di luar *tube* (14000 m/jam) dan selanjutnya akan di lakukan perhitungan numerik oleh piranti lunak sehingga menghasilkan distribusi tegangan pada dinding luar *tube* dengan menggunakan teori Navier-Stokes[1]. Dari distribusi tegangan akan dapat diketahui apakah kondisi tegangan masih pada area proporsional limit atau berada pada plastis heterogen sesuai teori Hollomon[2]. Pemodelan interaksi fluida dengan benda pejal telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti salah satunya Stephen Wolfram[3] pada beberapa model susunan pipa akan tetapi tidak pada lingkungan pembangkit uap PLTN. Tujuan dari simulasi ini adalah

untuk mengetahui distribusi tegangan pada material *tube* dalam rangka evaluasi integritas struktur material

## TEORI

Dalam analisis fluida digunakan perangkat lunak Marc Mentat yang bekerja dengan menggunakan metode elemen hingga. Perangkat lunak ini dapat melakukan empat jenis analisis fluida yaitu : aliran fluida dengan parameter temperatur, analisa fluida laminar, analisis fluida bertekanan dan temperatur serta analisis fluida biasa. Untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida perangkat lunak Marc Mentat menggunakan persamaan hukum Navier-Stokes [1]:

$$\rho((\partial v/\partial t)+v \nabla v)=\rho f +\nabla \cdot \sigma \quad (1)$$

dimana  $v$  adalah kecepatan fluida (m/s),  $\rho$  massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ ),  $t$  waktu (s) dan  $\sigma$  adalah tegangan (Pa)

Sedangkan distribusi tegangan pada *tube* pembangkit uap PLTN PWR dapat menggunakan persamaan di bawah ini[4]:

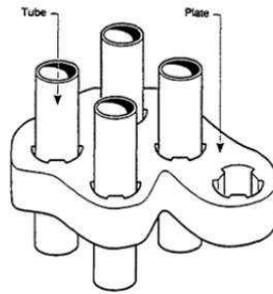
$$\sigma_r = \frac{\sigma}{\left(1 - \left(\frac{r_{in}}{r_{out}}\right)^2\right)} \times \left(\frac{r_1^2}{r_n^2} + \frac{r_{in}}{r_{out}}\right) \quad (2)$$

dimana  $r_{in}$  adalah jari jari dalam,  $r_{out}$  adalah jari jari luar,  $r_n$  adalah jari jari yang akan dikehendaki  $r_1$  adalah jari jari sumber tegangan,  $\sigma$  adalah tegangan yang bekerja pada permukaan dinding *tube*, dan  $\sigma_r$  adalah tegangan pada jari jari yang dikehendaki.

## METODOLOGI.

Dalam pemodelan numerik tegangan berbasis metode elemen hingga pembentukan elemen sangat berpengaruh dalam menentukan hasil yang akan digunakan. Pada pemodelan interaksi fluida dengan *tube* maka diperlukan suatu elemen yang memiliki derajat kebebasan berupa perpindahan yang dapat berinteraksi dengan parameter fluida dan tegangan pada benda pejal. Elemen dapat memiliki derajat kebebasan karena tersusun dari nodal nodal sehingga membentuk pola bangun sederhana seperti persegi, segitiga atau prisma. Optimasi pemodelan pada *tubing* pembangkit uap Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir dilakukan dengan tahap sederhana yaitu *preference*, *preprocessor* dan *postprocessor*.

Tahap *preference* adalah tahap penentuan jenis analisis yang akan dilakukan. Pada pemodelan *tubing* pembangkit uap ini dipilih jenis analisis fluida dengan metode Newtonian. Tahap ini dipilih dikarenakan dalam perhitungan mekanika fluida memperhitungkan faktor viskositas fluida untuk menghitung kecepatan fluida di dinding *tube*. Disamping itu persamaan yang ada merupakan penurunan dan pengembangan dari persamaan dari hukum Newton II. Tahap *preprocessor* adalah tahap pembangunan model, pendefinisian karakteristik bahan, pengkondisian model elemen hingga sehingga mendekati keadaan yang sebenarnya serta pemilihan keakurasian perhitungan melalui pengaturan pengulangan serta batasan galat yang masih dalam batas konvergen. Pada tahap *preprocessor* inilah yang memegang peran sangat penting dalam pemodelan berbasis metode elemen hingga yaitu pada langkah pendefinisian batasan masalah karena hal ini sangat dipengaruhi oleh pemahaman teori serta pengalaman eksperimental. Pada tahap *preprocessor* untuk pemodelan *tubing* pembangkit uap diperlukan data awal berupa gambar model susunan *tubing* pembangkit uap serta jenis pembangkit uap seperti pada Gambar 1 dibawah ini[5].



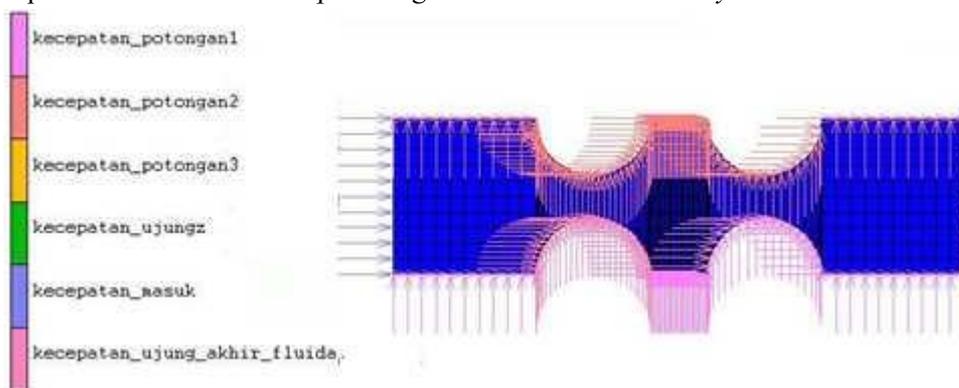
Gambar 1. Susunan tubing model 54F PLTN PWR.

Adapun data geometri dan sifat dari material dan fluida seperti Table 1 dibawah ini.

Table 1. Geometri dan material tube pembangkit uap [5]

No	Nama	Dimensi
1	Diameter Inside <i>Tube</i>	16 mm
2	Ketebalan <i>tube</i>	1.5 mm
3	Jarak vertikal antar <i>Tube</i>	22 mm
4	Jarak Horizontal	24 mm
5	Bahan/Material	Austenitik Steel

Dari data yang ada dibentuk model geometri dengan menggunakan metode *bottom up* dengan kriteria tipe elemen 11 kelas elemen quad 4 dengan derajat kebebasan berupa *displacement* dan temperatur. Rasio elemen yang digunakan pada pemodelan ini adalah 1 banding 4 dengan variasi toleransi 0,00001 - 0,001 dan *threshold* 0,5-1. Dengan parameter parameter ini di dapatkan hasil berupa model elemen hingga susunan *tubing* pembangkit uap pembangkit listrik tenaga nuklir dengan jumlah elemen 1000 dan nodal 1111 seperti pada Gambar 2. Batasan masalah yang digunakan dalam model elemen hingga *tubing* yaitu kecepatan nol pada nodal yang dilakukan pemotongan horisontal. Untuk potongan geometri vertikal diberikan pendefinisian kecepatan tegak lurus dengan arah *tubing* seperti pada Gambar 2. Analisis perhitungan dilakukan secara *steady state* dan *transient*.



Gambar 2. Model FEM Tubing

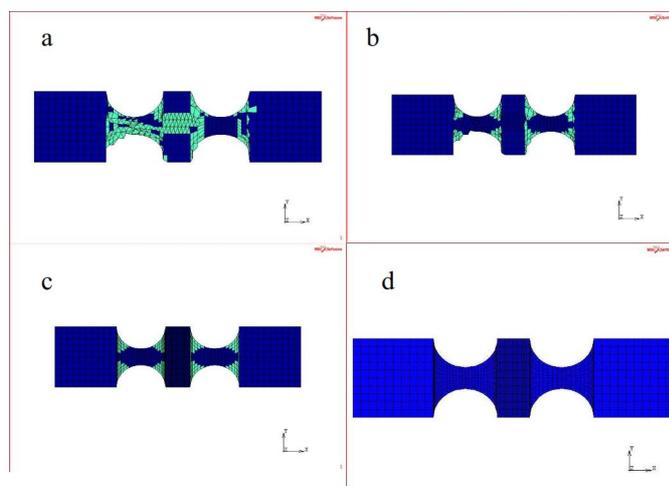
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga parameter elemen yang digunakan sangat berpengaruh terhadap hasil perhitungan. Pada parameter elemen yang digunakan mempengaruhi distorsi elemen, keberadaan bangun yang tidak dapat di *meshing* (*zero volume*), rasio elemen, dan elemen yang orientasinya menyimpang (*cross element*). Pengaruh parameter elemen pada pemodelan *tube* pembangkit uap PLTN membuat elemen memiliki interpretasi yang berbeda beda seperti yang terdapat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Parameter elemen dan hasil pengecekan elemen

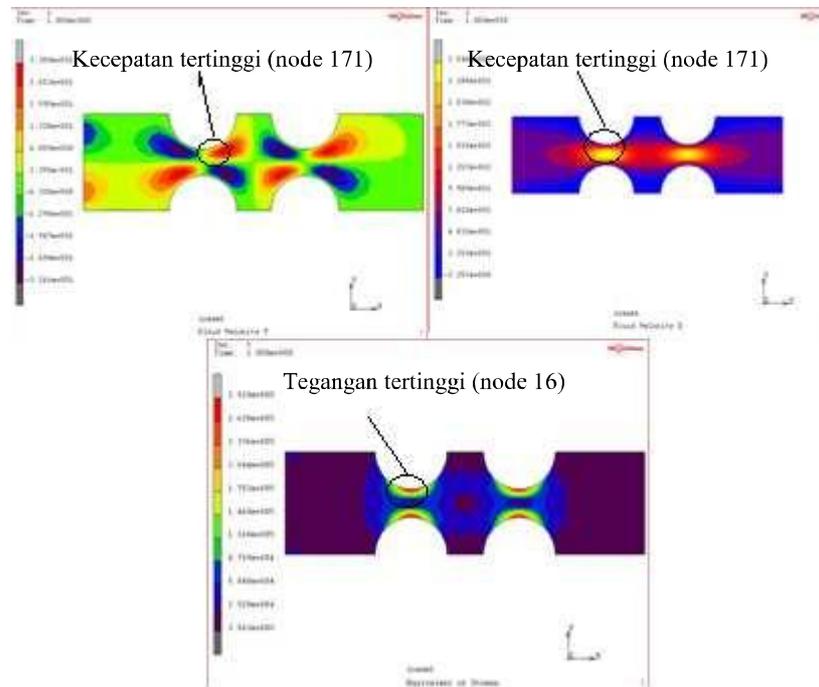
No	Parameter Elemen		Distorsi elemen	Bad Rasio Elemen	volume kosong	Cross elemen
	Toleransi	<i>Threshold</i>				
1	0,001	0,5	274	53	6	40
2	0,00001	0,5	240	80	0	69
3	0,0001	0,5	100	50	0	0
4	0,0001	1	0	0	0	0

Dari tabel 2 dapat di ketahui bahwa toleransi antar nodal dan tingkat kekasaran elemen (*threshold*) sangat berpengaruh terhadap distorsi, bad rasio, dan cross elemen (komposisi elemen). Toleransi yang ada tidak bersifat linier terhadap komposisi elemen yaitu semakin kecil jarak antar *node* tidak menjamin elemen yang dihasilkan akan baik. Hal ini terbukti saat pengaturan jarak antar *node* dengan nilai toleransi 0,00001 dan 0,0001 menunjukkan bahwa pengaturan jarak *node* dengan toleransi 0,0001 lebih baik yaitu dengan tidak adanya elemen yang mengalami distorsi, bad rasio, dan cross. Hal ini dikarenakan faktor geometri lebih berperan dominan dibandingkan dengan tingkat kerapatan dan kekasaran dari elemen dan jarak *node*. Seperti yang terlihat pada Gambar 3. Warna biru menunjukkan elemen yang sudah memenuhi syarat (tidak terdapat elemen yang mengalami distorsi, bad rasio, dan cross) untuk dilakukan proses selanjutnya yaitu perhitungan, sedangkan warna hijau menunjukkan kondisi elemen yang salah sehingga perlu dilakukan perubahan parameter pembentukan elemen. Pada Gambar 3d adalah kondisi dimana elemen yang terbentuk sudah memenuhi persyaratan untuk dilakukan perhitungan sesuai dengan derajat kebebasan *node* yang ada.



Gambar 3.(a) model FEM TL0,001 TH 0,5 (b) model FEM TL0,00001 TH 0,5  
(c) model FEM TL0,0001 TH 0,5 (d) model FEM TL0,0001 TH 1

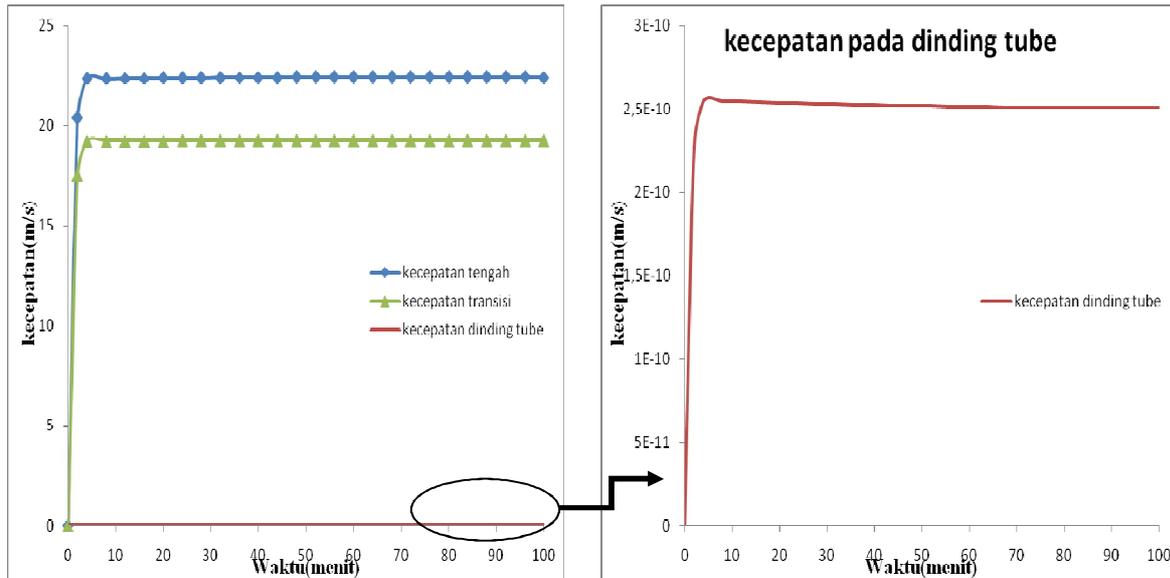
Saat elemen masih belum memenuhi syarat yang ada seperti di tunjukkan pada Gambar 3a sampai dengan Gambar 3c maka perhitungan akan mengalami kegagalan karena terjadinya distorsi elemen sehingga kondisi model tidak dalam keadaan diskrit kontinum dan perhitungan akan gagal. Saat kondisi sudah seperti Gambar 3d di dapatkan hasil perhitungan seperti pada Gambar 4.



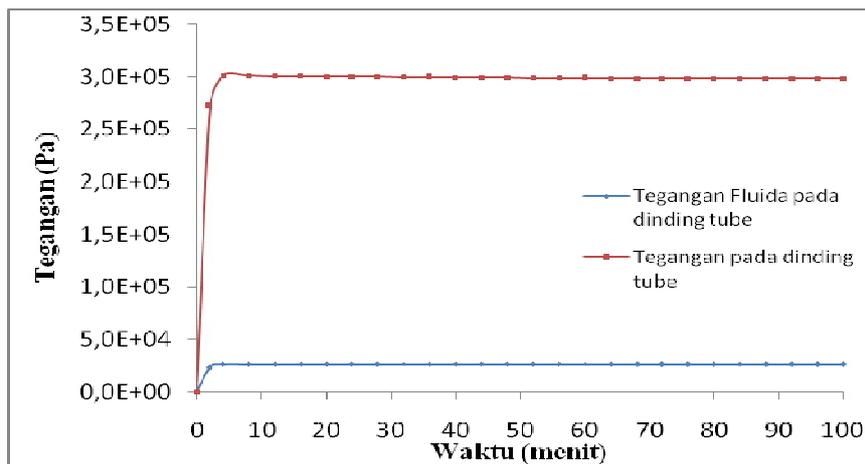
Gambar 4. Distribusi tegangan dan kecepatan

Dari hasil perhitungan statis menunjukkan intensitas kecepatan tertinggi terjadi pada *node* 171 yaitu *node* yang mewakili daerah penyempitan penampang alir fluida. Secara teoritis pola distribusi kecepatan ini sudah sesuai dengan hukum kekekalan debit fluida. Pada penampang saat air masuk kecepatan lebih rendah dibanding pada area yang lebih sempit hal ini karena debit selalu tetap dan yang mengalami perubahan adalah kecepatan dan luas penampang, pada area yang memiliki luas penampang yang lebih sempit akan memiliki intensitas kecepatan fluida yang lebih tinggi begitu pula sebaliknya, daerah yang memiliki luas penampang lebih luas akan memiliki intensitas kecepatan yang lebih rendah. Pada pemodelan statis perbandingan luas penampang awal dengan area penyempitan (*node*171) adalah 1 banding 4 dan hal ini sesuai dengan kecepatan pada kedua tempat yaitu 4 m/s dan 23 m/s sehingga error pada analisis statis ini kurang dari 10%. Untuk tegangan intensitas tegangan tertinggi pada dinding *tube* pembangkit uap terjadi pada area tengah permukaan *tube* yang ditunjukkan pada *node* 16.

Pada analisis transient dipergunakan beban yang sama dengan keadaan statis hanya waktu pembebanan 100 menit. Dari hasil pemodelan dengan analisis transient di dapatkan hasil intensitas kecepatan tertinggi terjadi pada *node* 171 dan intensitas tegangan tertinggi terjadi pada *node* 16 sesuai dengan grafik hasil kecepatan dan tegangan seperti pada Gambar 5 dan 6 di bawah ini.



Gambar 5. Grafik kecepatan pada dinding *tube*, area penyempitan dan transisi antara dinding *tube* dengan titik tengah penyempitan.



Gambar 6. Grafik intensitas tegangan tertinggi pada *tube* pembangkit uap PLTN

Akibat aliran fluida terbentuk tegangan yang bekerja pada permukaan dinding *tube*. Besarnya aliran 3,89 m/s memberikan dampak tekanan yang bekerja pada dinding *tube* karena fluida sebesar 0,03 MPa. dengan menggunakan persamaan 4 maka di dapatkan tegangan yang dialami oleh dinding *tube* adalah 0,3 MPa dalam rentang waktu 100 menit. Besarnya tegangan yang bekerja masih jauh dari tegangan luluh austenik steel yaitu 250 MPa. Dengan kata lain apabila aliran bekerja secara tetap dan tidak terjadi keadaan anomali maka besarnya aliran dapat dikatakan tidak memberikan kontribusi terhadap dampak degradasi material *tube* pembangkit uap atau *tube* akan tetap berada pada integritas strukturnya jika besarnya aliran sesuai dengan yang di ijinakan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pemodelan tegangan pada dinding *tube* pembangkit uap PLTN di dapatkan bahwa intensitas tegangan tertinggi 0,3 MPa masih jauh di bawah tegangan luluh dari material *tube* 250 MPa, sehingga integritas struktur material masih dalam batas aman. Untuk mengetahui derajat kepercayaan

maka perlu dilakukan eksperimen yang mewakili pemodelan interaksi fluida dengan benda pejal khususnya air dan baja austenik.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Pranata Nuklir laboratorium Termohidrolik ( Bambang Heru Greg, Ainur Rosidi, Joko Prastyo) kami ucapkan terimakasih atas diskusi ilmiah yang dapat memperkuat teori pada makalah ini serta melakukan eksperimen yang saat ini masih berjalan untuk kegiatan validitas interaksi tekanan, temperatur dan laju alir air dengan baja austenik.

### DAFTAR PUSTAKA

1. MSC.Software Ltd, " *Volume A Theory and User Information* " , Germany, 2010
2. Wahid Suheran, " *Pengetahuan Bahan Teknik* ", ITS Surabaya 2000
3. Stephen Wolfram, " *A New Kind Of Science Lattice Gas Automata (LGA)* ", USA, 2002:308.
4. IAEA, " *Assessment and Management of Aging of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: PWR Pressure Vessel* ", Austria, 2007.
5. IAEA, " *Assessment and Management of Aging of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Steam Generators* ", Austria, 2007.

### DISKUSI / TANYA JAWAB :

PERTANYAAN : (Geni Rina Sunaryo, PTRKN-BATAN)

- Bagaimana pengaruhnya pada tegangan jika yang disimulasikan adalah untuk satu bundle ?
- Bagaimana pengaruh temperatur ?

JAWABAN : (Anni Rahmat, PTRKN-BATAN)

- Dalam analisa desain dipilih luasan yang paling kritis, dengan maksud jika pada luasan yang kritis masih dalam batas aman maka untuk luasan lain tentu akan aman juga.
- Kenaikan temperatur akan menaikkan nilai tekanan dan tegangan yang bekerja.

PERTANYAAN : (Johny Situmorang, PTRKN-BATAN)

- Diantara LWR apakah ada perbedaan tipe SG, kalau ada beda tipe maka operasi akan berbeda, bagaimana hal ini dapat digambarkan ?

JAWABAN : (Anni Rahmat, PTRKN-BATAN)

- Ada, untuk membuat simulasi dapat digunakan APL untuk acuan sehingga berapa tegangan yang beroperasi dapat dengan mudah diubah selama model dan geometri tidak mengalami perubahan. Jika terjadi perubahan geometri model harus dibuat kembali dari awal.