

## PENGUJIAN TEGANGAN MEKANIK PADA SISI SEKUNDER DESAIN KONDENSOR TIPE KOMPAK

**Dedy Haryanto, Kiswanta, Sagino, Riswan Djambiar**

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) – BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, BANTEN.

Telp.: 62-21-7560912, Fax.: 62-21-7560913, Kode Pos : 15310

e-mail: [haryanto\\_dedyaja@yahoo.co.id](mailto:haryanto_dedyaja@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

**PENGUJIAN TEGANGAN MEKANIK PADA SISI SEKUNDER DESAIN KONDENSOR TIPE KOMPAK.** Fasilitas Untai Uji BETA (UUB) adalah sarana eksperimen yang digunakan untuk penelitian dan pemahaman fenomena *reflooding* yang terjadi pada bundel bahan bakar PWR selama *post-LOCA*. Kondensor tipe kompak merupakan salah satu komponen fasilitas tersebut. Kondensor ini didesain untuk menggantikan kondensor yang telah ada dimana keuntungan kondensor tipe kompak lebih mudah dalam hal perawatan. Sebelum dilakukan pabrikan perlu dilakukan pengujian terhadap desain kondensor. Pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan *software* CATIA Versi 5 Release 19. Pengujian dilakukan dalam kondisi tekanan dan temperatur yang berbeda mengacu pada tekanan desain 10 atm dengan temperatur desain 90°C. Hasil pengujian tegangan mekanik terbesar  $4,61 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> pada tekanan 10 atm temperatur 90°C. Tegangan mekanik yang dihasilkan dari pengujian secara simulasi relatif lebih kecil dibandingkan dengan *yield strength* material *Stainless Steel* 316 yang digunakan sebesar  $2,05 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>. Dengan demikian desain kondensor tipe kompak ini aman untuk digunakan sebagai salah satu komponen UUB sebagai fasilitas penelitian.

**Kata kunci:** kondensor tipe kompak, tegangan mekanik, *Stainless Steel* 316.

### ABSTRACT

**TESTING OF MECHANIC STRAIN AT SECONDARY SIDE OF DESIGN OF COMPACT TYPE CONDENSER.** Beta Testing circuit facility (UUB) is supporting facilities for experiment which applied for research and understanding of phenomenon *refolding* happened at fuel bundle PWR during *post-LOCA*. Compact type condenser is one of the facility components. The condenser designed to replace condenser which have is where interest of easier compact type condenser in the case of maintenance. Before manufacturing require to be done testing at design of condenser. Test by done simulation apply *software* CATIA Version 5 Release 19. The test are done condition of different pressure and temperature refers to the design pressure of 10 atm with an design temperature of 90 °C. Result of testing the biggest mechanic strain  $4,61 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> at pressure of 10 atm temperature of 90 °C . Result of mechanic strain from test are compared smaller is relative to yield strength material *Stainless Steel* 316 which applied equal to  $2.05 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>. Compact type condenser design can be used as one of component UUB as research facility, safely.

**Keywords:** compact type condenser, mechanic strain, *Stainless Steel* 316.

## PENDAHULUAN

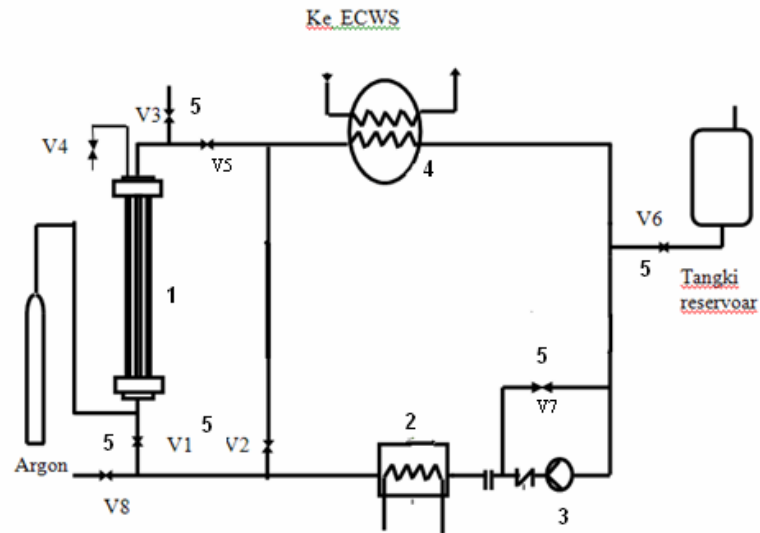
Untai Uji BETA (UUB) adalah sarana eksperimen yang digunakan untuk penelitian dan pemahaman fenomena *reflooding* yang terjadi pada bundel bahan bakar PWR selama *post-LOCA* (*Lost Of Coolant Accident*). Riset yang dilakukan pada UUB ditujukan selain untuk pemahaman fenomena melalui pengamatan langsung, juga untuk memperoleh data perbandingan untuk pemodelan numerik<sup>[1]</sup>. Fenomena ini sangat penting apalagi setelah terjadinya kecelakaan pelelehan reaktor PLTN di Fukushima Jepang.

Untai Uji BETA (UUB) terdiri dari beberapa komponen yang terinstall menggunakan sistem pemipaan dengan material dari *Stainless Steel* 316. Salah satu komponen UUB adalah kondensor tipe kompak yang berfungsi sebagai penukar kalor. Sisi primer kondensor didesain menggunakan *tube spiral* *Stainless Steel* 316 inside  $\varnothing$  0,65 inci, outside  $\varnothing$  0,75 inci sedangkan sisi sekunder menggunakan pipa *stainless steel* 316  $\varnothing$  609,6 mm (24 inci) tebal 6,35 mm (0,25 inci) atau sch. 10 panjang 800 mm. Kondensor ini didesain dengan tekanan 10 atm dan temperatur 90 °C, sedangkan pada pengoperasiannya maksimal bertekanan 2 atm dan temperatur 50 °C. Untuk mengetahui keandalan dan keamanan dari desain kondensor maka perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu sebelum dilakukan fabrikasi. Pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan *software* CATIA V5 R19<sup>[2]</sup> dengan tekanan dan temperatur bervariasi mengacu pada tekanan dan temperatur desain. Hasil pengujian dapat diketahui besar tegangan mekanik yang terjadi akibat beban berupa tekanan dan temperatur sampai dengan tekanan dan temperatur desain.

Dalam makalah ini dibahas tentang adanya tegangan mekanik yang terjadi pada sisi sekunder kondensor akibat pembebanan berupa tekanan dan temperatur. Pengujian secara simulasi dilakukan dengan temperatur dan tekanan yang bervariasi, dimana kondisi tersebut mensimulasi kondisi pengoperasian kondensor sampai dengan kondisi desain. Untuk melakukan pengujian harus dilakukan pembuatan model 3-dimensi dengan mengacu desain kondensor tipe kompak. Hasil pengujian dapat menunjukkan besar tegangan mekanik yang terjadi pada sisi sekunder kondensor kompak, dimana besaran tegangan mekanik yang terjadi diharapkan tidak melebihi kekuatan material *Stainless Steel* 316 yang digunakan pada sisi sekunder kondensor kompak.

## DISKRIPSI RANCANGAN

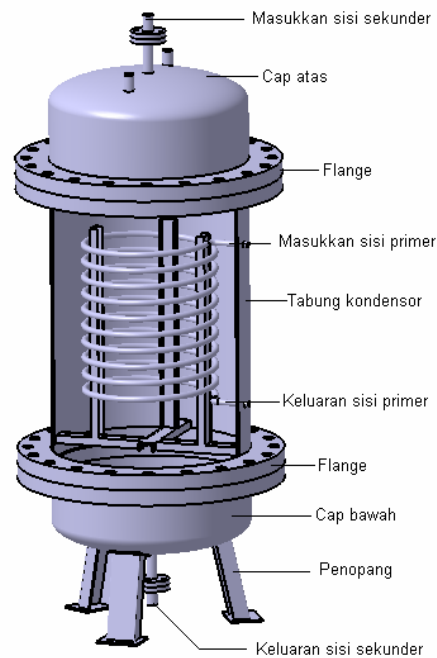
Fasilitas termohidrolika Untai Uji BETA dengan diagram alir seperti terlihat pada Gambar 1, terdiri dari beberapa komponen utama: kanal uji yang memuat bundel uji, pemanas mula (*preheater*), pompa sirkulasi, kondensor atau penukar kalor dan katup untuk mengatur aliran fluida.



Keterangan:

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. Kanal uji yang memuat bundel uji                                    | 2. Pemanas mula ( <i>preheater</i> ) |
| 3. Pompa sirkulasi   | 4. Kondensor atau Penukar kalor      |
| 5. Katup untuk mengatur aliran fluida (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8) |                                      |

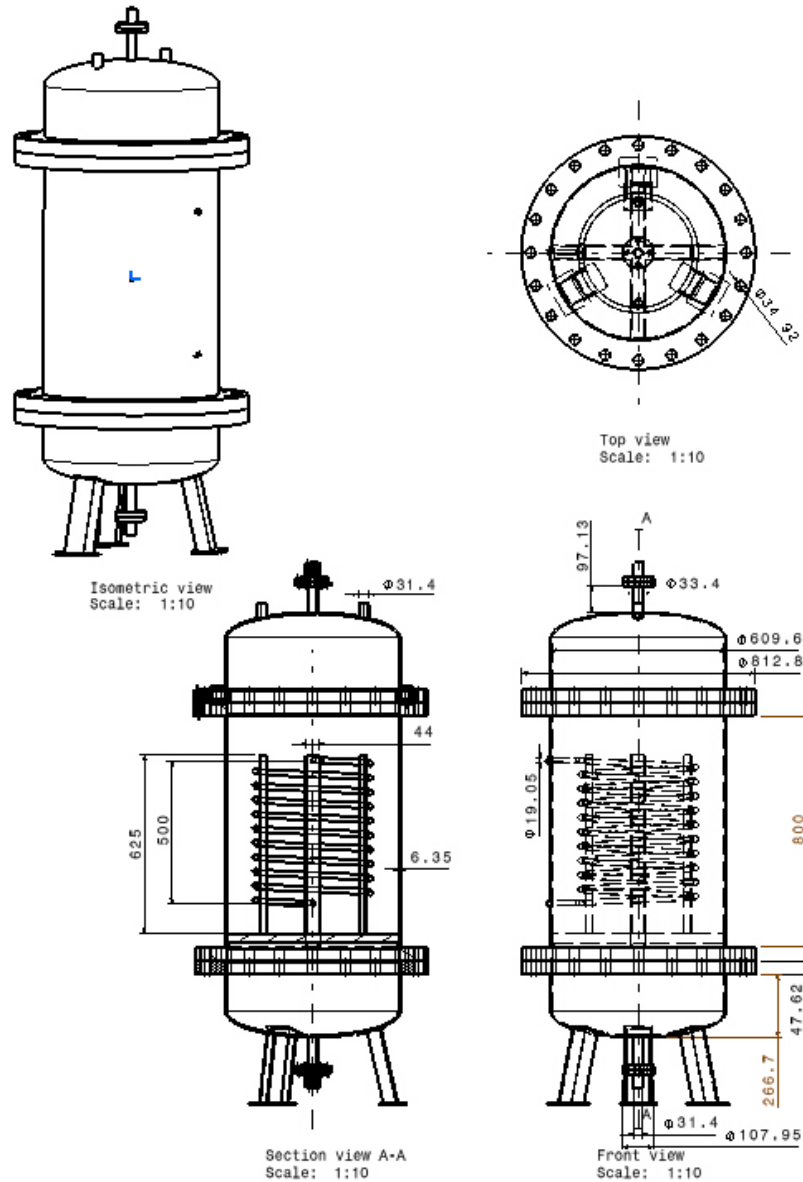
**Gambar 1. Diagram alir Untai Uji BETA**



**Gambar 2. Desain kondensor tipe kompak**

Kanal uji dibuat transparan dari tabung kwarsa untuk memudahkan visualisasi menggunakan kamera video. Bundel uji terdiri dari satu sampai empat batang pemanas dengan daya panas total sekitar 8 kW. Pompa sirkulasi merupakan pompa sentrifugal yang laju alirnya dapat divariasikan hingga 50 lt/menit. Pemanas mula mempunyai daya maksimum sekitar 47 kW. Sistem pemipaan

digunakan tabung yang dibuat dari *Stainless Steel* 316 dengan ukuran diameter  $\frac{3}{4}$  inci. Penukar kalor merupakan jenis aliran lawan arah dengan kapasitas lebih kurang 70 kW.



**Gambar 3. Proyeksi disain kondensor kompak**

Kondensor yang digunakan didesain dengan tipe kompak, dimana kondensor tersebut direncanakan untuk menggantikan kondensor yang telah ada. Kondensor tipe kompak ini mempunyai keuntungan dapat dilakukan bongkar pasang untuk memudahkan pemeliharaan. Desain sisi sekunder kondensor tipe kompak terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 terdiri dari beberapa bagian meliputi;

1. Tabung kondensor dari Pipa *Stainless Steel* 316,  $\phi 609,6$  mm (24 inci) tebal 6,35 mm (0,25 inci) atau Sch. 10.
2. *Cap* *Stainless Steel* 316  $\phi 24$  inci dengan ketebalan 0,25 inci

3. *Slip On Flanges* Stainless Steel 316 Sch. Class 150
4. *Tube spiral* Stainless Steel 316 inside Ø 0,65 inci, outside Ø 0,75 inci
5. *Hanger Tube spiral* Stainless Steel 316 Ø panjang 625 mm

Pengujian tegangan mekanik pada sisi sekunder kondensor bertujuan untuk mengetahui besar tegangan mekanik yang timbul akibat beban tekanan pengoperasian. Pengujian menggunakan *software* CATIA V5 R19 dimana *software* ini telah digunakan oleh produsen-produksen otomotif untuk keperluan desain mekanik dan analisis desain. Proses pengujian memerlukan data masukan berupa jenis material beserta sifat-sifatnya, yang meliputi *young's modulus*, *density*, *thermal expansion* dan *yield strength* serta *poisson ratio*. Material yang digunakan pada sisi sekunder kondensor adalah *Stainless Steel 316* dengan *mechanical properties* material adalah sebagai berikut :

**Tabel 1. Mechanical properties Stainless Steel 316<sup>[3]</sup>**

<b>Material Stainless Steel 316</b>	
<b>Composition</b>	
C (%)	= 0,08
Mn (%)	= 2,00
Si (%)	= 1,00
Cr (%)	= 16,0-18,0
Ni (%)	= 10,0-14,0
P (%)	= 0,045
S (%)	= 0,03
Mo (%)	= 2,0-3,0
<b>Mechanical Properties</b>	
Density ( $\times 1000 \text{ kg/m}^3$ )	= 8
Poisson's Ratio	= 0,27-0,30
Elastic Modulus (GPa)	= 193
Tensile Strength (Mpa)	= 515
Yield Strength (Mpa)	= 205
Elongation (%)	= 40
Reduction in Area (%)	= 50
Hardness (HRB)	= 95
<b>Thermal Properties</b>	
Thermal Expansion ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	= 15,9
Thermal Conductivity (W/m-K)	= 16,2
Specific Heat (J/kg-K)	= 500
<b>Electric Properties</b>	
Electric Resistivity ( $10^{-9} \Omega\text{-m}$ )	= 720

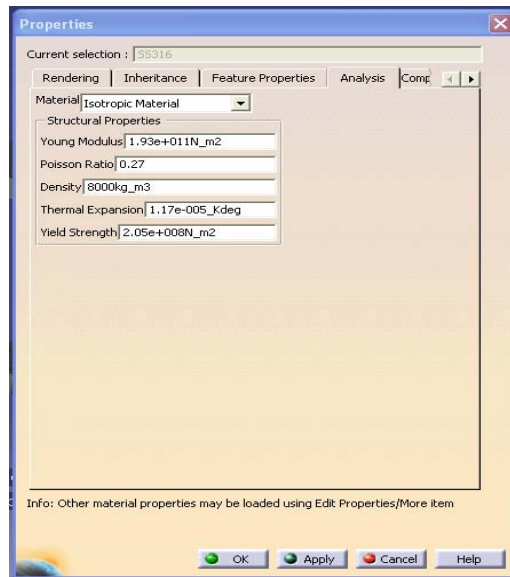
## METODOLOGI

Tahapan yang dilakukan dalam melakukan pengujian tegangan mekanik pada sisi sekunder kondensor tipe kompak adalah sebagai berikut ;

### 1. Pembuatan model 3-dimensi.

Dalam tahapan ini model 3-dimensi kondensor tipe kompak dibuat mengacu pada desain kondensor. Model 3-dimensi dibuat menggunakan *software* CATIA V5 R19, sehingga pengujian dapat dilakukan terhadap model tersebut. Model kondensor dilengkapi dengan *mechanical*

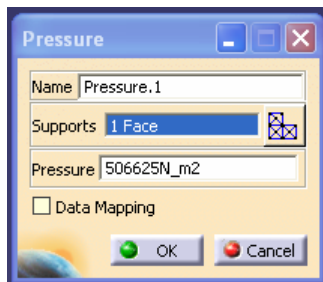
*properties* dan *thermal properties* dari material yang digunakan sebagai data masukan seperti terlihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Data masukan berupa *mechanical properties* material

## 2. Pembebanan.

Data pembebanan berupa tekanan yang mensimulasikan tekanan operasi diasumsikan tersebar merata pada dinding bagian dalam dari kondensator. Arah pembebanan kesegala arah pada bagian dalam dinding kondensator, masukan data simulasi beban terlihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Data masukan berupa beban tekanan

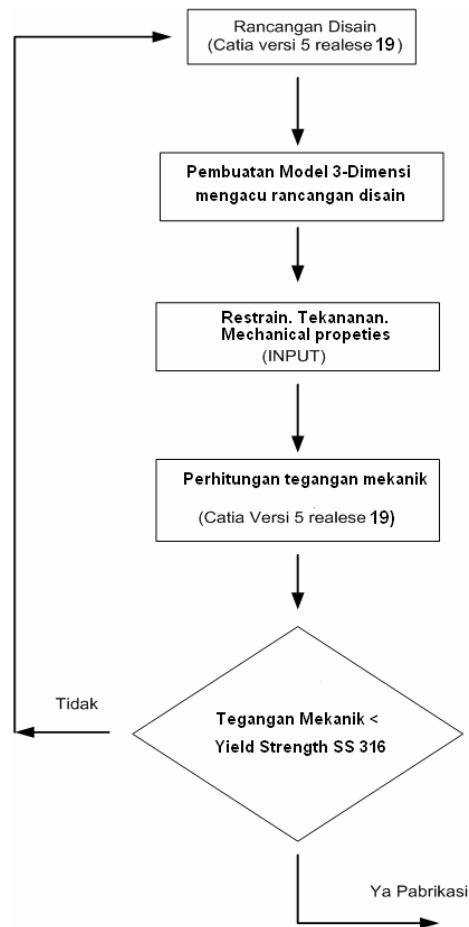
## 3. Restrain.

Restrain menggunakan isostatik, mensimulasikan model 3-dimensi pada kondisi statis. Restrain harus diberikan pada model karena tanpa adanya restrain maka pengujian secara simulasi tidak dapat dilakukan.

## 4. Pengujian tegangan mekanik.

Menggunakan model 3-dimensi yang telah diperoleh mengacu dari desain kondensator tipe kompak, dengan asumsi saat kondensator bertekanan dilakukan pengujian secara simulasi untuk mengetahui besaran tegangan mekanik yang terjadi. Besaran tersebut dibandingkan dengan kekuatan material yang digunakan pada desain kondensator sehingga dapat diketahui keandalan dan keamanan desain kondensator tipe kompak tersebut.

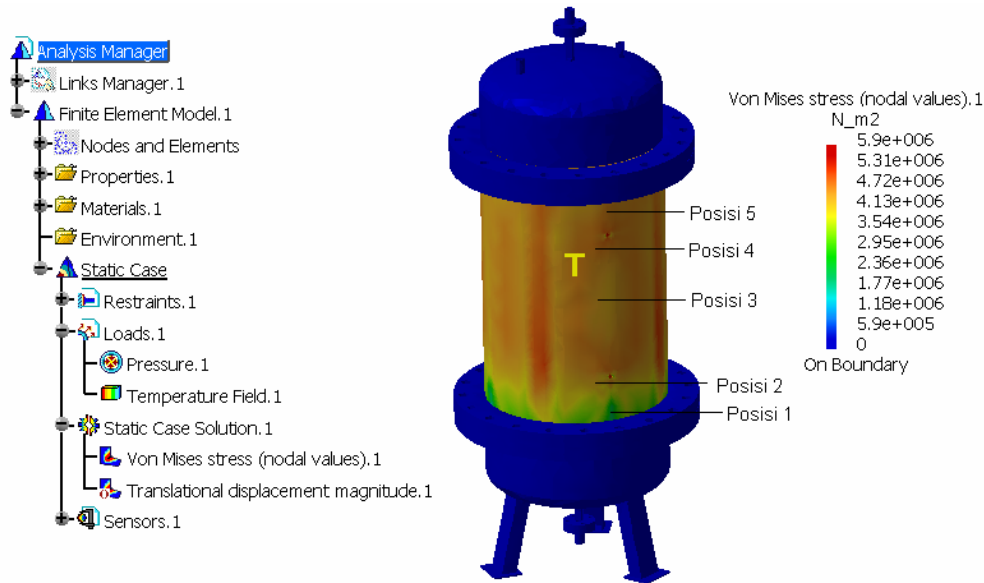
Untuk lebih jelasnya tata kerja yang dilakukan dalam pengujian tegangan mekanik sisi sekunder kondensator dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



**Gambar 6. Diagram Alir pengujian sisi sekunder kondensator tipe kompak**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Besaran beban pengujian berupa tekanan dan temperatur mensimulasikan tekanan dan temperatur desain merupakan data masukan disamping sifat-sifat mekanik dari material yang digunakan oleh sisi sekunder kondensator tipe kompak. Beban pengujian berupa temperatur dan tekanan yang bervariasi, dimana besar temperatur mulai dari 70 °C sampai dengan 90 °C sedangkan besar tekanan mulai dari 1 atm sampai dengan 10 atm. Beban diasumsikan menekan kesegala arah mengenai dinding bagian dalam kondensator, dan hasil proses pengujian secara simulasi seperti terlihat pada gambar berikut.



**Gambar 7. Posisi tegangan mekanik terbesar**

Pengujian secara simulasi menghasilkan tegangan mekanik terjadi pada tabung kondensator, dengan mengambil lima titik tegangan mekanik terbesar pada posisi yang sama hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

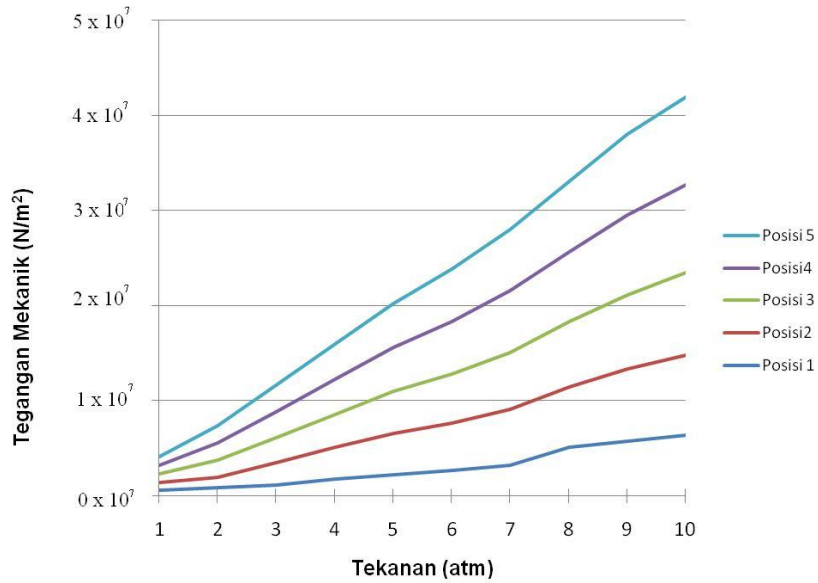
**Tabel 2. Hasil pengujian desain sisi sekunder kondensator kompak**

Posisi	Tekanan 1 atm	Tekanan 2 atm	Tekanan 3 atm	Tekanan 4 atm	Tekanan 5 atm	Tekanan 6 atm	Tekanan 7 atm	Tekanan 8 atm	Tekanan 9 atm	Tekanan 10 atm
	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )	Tegangan Mekanik (N/m <sup>2</sup> )
<b>Temperatur 70 °C</b>										
Posisi 1	2,85 x10 <sup>6</sup>	4,34 x10 <sup>6</sup>	5,51 x10 <sup>6</sup>	8,68 x10 <sup>6</sup>	1,09 x10 <sup>7</sup>	1,30 x10 <sup>7</sup>	1,61 x10 <sup>7</sup>	2,53 x10 <sup>7</sup>	2,85 x10 <sup>7</sup>	3,17 x10 <sup>7</sup>
Posisi 2	4,20 x10 <sup>6</sup>	5,43 x10 <sup>6</sup>	1,20 x10 <sup>7</sup>	1,69 x10 <sup>7</sup>	2,17 x10 <sup>7</sup>	2,53 x10 <sup>7</sup>	2,95 x10 <sup>7</sup>	3,20 x10 <sup>7</sup>	3,80 x10 <sup>7</sup>	4,22 x10 <sup>7</sup>
Posisi 3	4,36 x10 <sup>6</sup>	8,71 x10 <sup>6</sup>	1,28 x10 <sup>7</sup>	1,71 x10 <sup>7</sup>	2,24 x10 <sup>7</sup>	2,57 x10 <sup>7</sup>	2,99 x10 <sup>7</sup>	3,42 x10 <sup>7</sup>	3,93 x10 <sup>7</sup>	4,36 x10 <sup>7</sup>
Posisi 4	4,53 x10 <sup>6</sup>	9,20 x10 <sup>6</sup>	1,38 x10 <sup>7</sup>	1,84 x10 <sup>7</sup>	2,30 x10 <sup>7</sup>	2,76 x10 <sup>7</sup>	3,22 x10 <sup>7</sup>	3,68 x10 <sup>7</sup>	4,20 x10 <sup>7</sup>	4,60 x10 <sup>7</sup>
Posisi 5	4,61 x10 <sup>6</sup>	9,23 x10 <sup>6</sup>	1,39 x10 <sup>7</sup>	1,85 x10 <sup>7</sup>	2,31 x10 <sup>7</sup>	2,77 x10 <sup>7</sup>	3,23 x10 <sup>7</sup>	3,69 x10 <sup>7</sup>	4,25 x10 <sup>7</sup>	4,61 x10 <sup>7</sup>
<b>Temperatur 80 °C</b>										
Posisi 1	2,17 x10 <sup>6</sup>	4,34 x10 <sup>6</sup>	5,91 x10 <sup>6</sup>	8,68 x10 <sup>6</sup>	1,09 x10 <sup>7</sup>	1,30 x10 <sup>7</sup>	1,25 x10 <sup>7</sup>	1,74 x10 <sup>7</sup>	2,85 x10 <sup>7</sup>	3,17 x10 <sup>7</sup>
Posisi 2	4,22 x10 <sup>6</sup>	8,43 x10 <sup>6</sup>	1,26 x10 <sup>7</sup>	1,59 x10 <sup>7</sup>	2,11 x10 <sup>7</sup>	2,53 x10 <sup>7</sup>	2,95 x10 <sup>7</sup>	3,37 x10 <sup>7</sup>	3,91 x10 <sup>7</sup>	4,35 x10 <sup>7</sup>
Posisi 3	4,28 x10 <sup>6</sup>	8,53 x10 <sup>6</sup>	1,31 x10 <sup>7</sup>	1,71 x10 <sup>7</sup>	2,14 x10 <sup>7</sup>	2,61 x10 <sup>7</sup>	3,05 x10 <sup>7</sup>	3,41 x10 <sup>7</sup>	3,92 x10 <sup>7</sup>	4,35 x10 <sup>7</sup>
Posisi 4	4,60 x10 <sup>6</sup>	9,20 x10 <sup>6</sup>	1,38 x10 <sup>7</sup>	1,84 x10 <sup>7</sup>	2,30 x10 <sup>7</sup>	2,76 x10 <sup>7</sup>	3,22 x10 <sup>7</sup>	3,71 x10 <sup>7</sup>	4,14 x10 <sup>7</sup>	4,60 x10 <sup>7</sup>
Posisi 5	4,61 x10 <sup>6</sup>	9,23 x10 <sup>6</sup>	1,39 x10 <sup>7</sup>	1,85 x10 <sup>7</sup>	2,31 x10 <sup>7</sup>	2,77 x10 <sup>7</sup>	3,23 x10 <sup>7</sup>	3,69 x10 <sup>7</sup>	4,15 x10 <sup>7</sup>	4,60 x10 <sup>7</sup>
<b>Temperatur 90 °C</b>										
Posisi 1	2,17 x10 <sup>6</sup>	4,61 x10 <sup>6</sup>	8,68 x10 <sup>6</sup>	9,50 x10 <sup>6</sup>	1,15 x10 <sup>7</sup>	1,30 x10 <sup>7</sup>	1,74 x10 <sup>7</sup>	2,22 x10 <sup>7</sup>	2,17 x10 <sup>7</sup>	2,85 x10 <sup>7</sup>
Posisi 2	4,22 x10 <sup>6</sup>	8,50 x10 <sup>6</sup>	1,28 x10 <sup>7</sup>	1,71 x10 <sup>7</sup>	2,14 x10 <sup>7</sup>	2,68 x10 <sup>7</sup>	2,95 x10 <sup>7</sup>	3,37 x10 <sup>7</sup>	3,79 x10 <sup>7</sup>	4,22 x10 <sup>7</sup>
Posisi 3	4,35 x10 <sup>6</sup>	8,55 x10 <sup>6</sup>	1,34 x10 <sup>7</sup>	1,79 x10 <sup>7</sup>	2,17 x10 <sup>7</sup>	2,57 x10 <sup>7</sup>	2,99 x10 <sup>7</sup>	3,48 x10 <sup>7</sup>	3,92 x10 <sup>7</sup>	4,28 x10 <sup>7</sup>
Posisi 4	4,60 x10 <sup>6</sup>	9,20 x10 <sup>6</sup>	1,38 x10 <sup>7</sup>	1,84 x10 <sup>7</sup>	2,30 x10 <sup>7</sup>	2,76 x10 <sup>7</sup>	3,22 x10 <sup>7</sup>	3,68 x10 <sup>7</sup>	4,14 x10 <sup>7</sup>	4,60 x10 <sup>7</sup>
Posisi 5	4,61 x10 <sup>6</sup>	9,22 x10 <sup>6</sup>	1,38 x10 <sup>7</sup>	1,84 x10 <sup>7</sup>	2,31 x10 <sup>7</sup>	2,77 x10 <sup>7</sup>	3,23 x10 <sup>7</sup>	3,69 x10 <sup>7</sup>	4,14 x10 <sup>7</sup>	4,61 x10 <sup>7</sup>

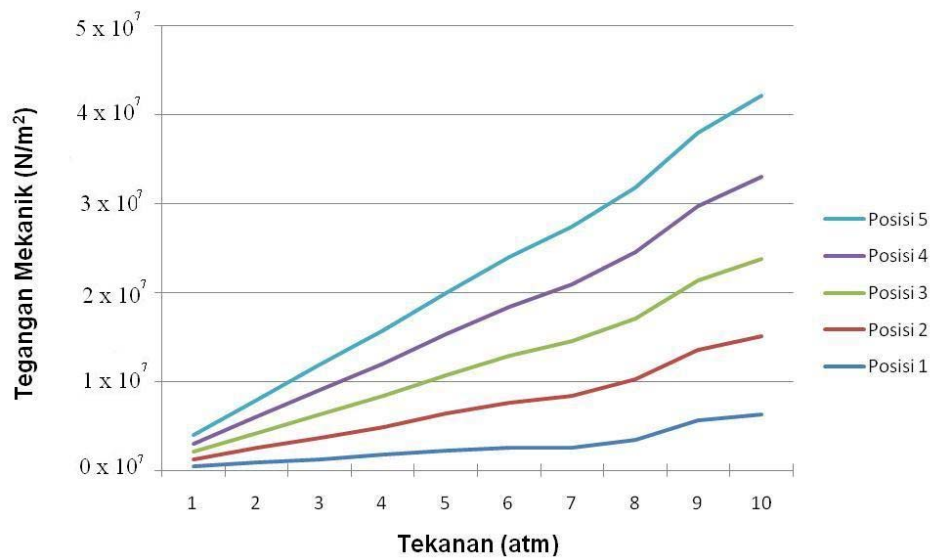
Hasil pengujian tegangan mekanik pada beberapa titik (lima posisi) di bagian tabung kondensator menunjukkan besaran yang bervariasi. Mengacu hasil pengujian pada Tabel 2 adalah sebagai berikut:

1. Pada temperatur yang sama dan tekanan meningkat hasil pengujian menunjukkan tegangan mekanik pada tiap posisi yang sama mengalami kenaikan.

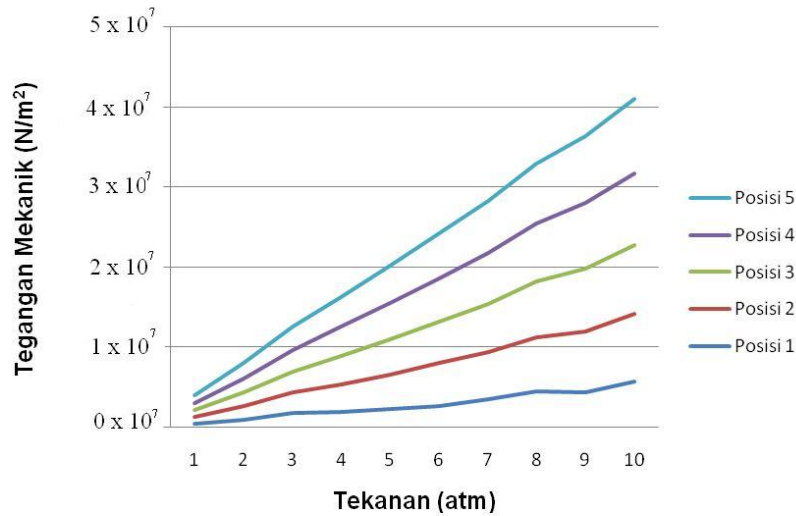




Gambar 8. Grafik tekanan versus tegangan mekanik pada temperatur 70 °C

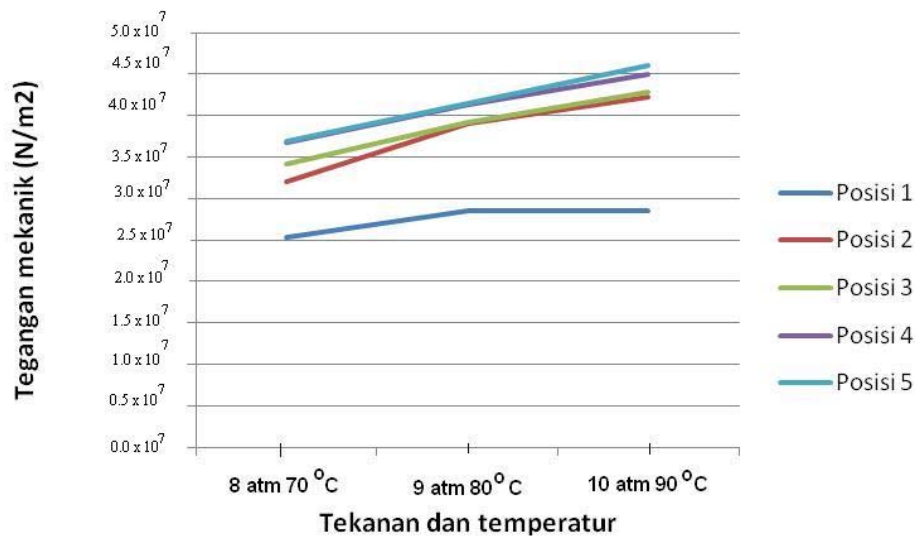


Gambar 9. Grafik tekanan versus tegangan mekanik pada temperatur 80 °C



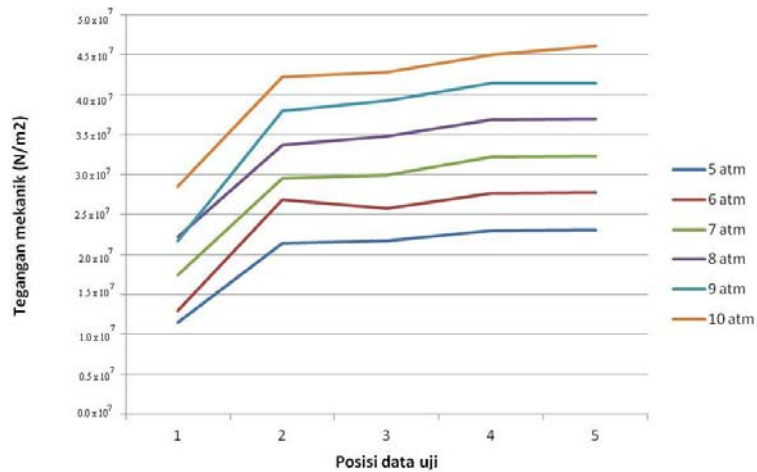
Gambar 10. Grafik tekanan versus tegangan mekanik pada temperatur 90 °C

2. Pada tekanan dan temperatur meningkat hasil pengujian menunjukkan tegangan mekanik pada tiap posisi yang sama mengalami kenaikan.



Gambar 11. Grafik tekanan dan temperatur versus tegangan mekanik

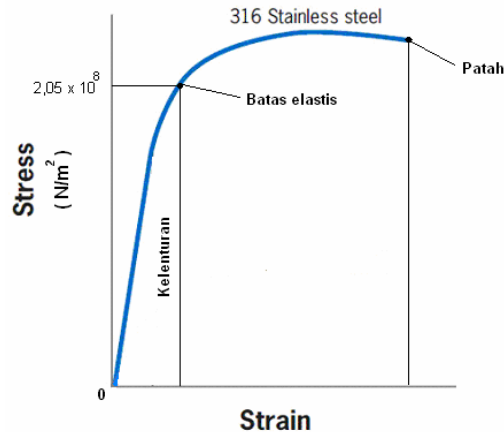
3. Pada tekanan dan temperatur sama hasil pengujian menunjukkan tegangan mekanik pada tiap posisi yang berbeda mengalami kenaikan



**Gambar 12. Grafik posisi versus tegangan mekanik pada temperatur 90 °C**

Pengujian dilakukan dalam beberapa kondisi temperatur dan tekanan sehingga didapatkan data-data hasil pengujian pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian dan grafik-grafik yang diperlihatkan diatas peningkatan tekanan dan temperatur sangat mempengaruhi dalam peningkatan tegangan mekanik pada material. Dimana material akan berubah bentuk atau volume atau keduanya saat mendapatkan peningkatan tekanan dan temperatur. Perubahan tersebut dikatakan elastis jika perubahan bentuk dan volume yang disebabkan peningkatan tekanan dan temperatur dapat secara sempurna kembali kekeadaan semula jika tekanan dan temperatur kembali kekeadaan awal.

Hasil pengujian secara simulasi mendapatkan tegangan mekanik terbesar terjadi pada tekanan 10 atm dan temperatur 90 °C sebesar  $4,61 \times 10^7$   $N/m^2$  pada posisi bagian atas (posisi 5) tabung kondensor seperti terlihat pada Gambar 12. Dengan demikian pada posisi tersebut merupakan bagian terlemah dari desain kondensor tipe kompak, tetapi jika dibandingkan dengan *yield strength* material *Stainless Steel* 316 yang digunakan sebesar  $2,05 \times 10^8$   $N/m^2$  tegangan mekanik yang terjadi pada tabung kondensor masih jauh lebih kecil. Tegangan mekanik terbesar yang timbul masih berada pada daerah elastis material *Stainless Steel* 316 sehingga jika beban berupa tekanan dan temperatur ditiadakan maka tegangan mekanik akan hilang dan tabung kondensor tidak mengalami perubahan kebentuk. Seperti terlihat pada Gambar 13, grafik tersebut menunjukkan batas elastis (*yield strength*) sebesar  $2,05 \times 10^8$   $N/m^2$  merupakan batas tegangan dimana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula bila beban dilepaskan (terjadi deformasi tetap).



Gambar 13. Stress-strain graph Stainless Steel 316<sup>[4]</sup>

Berdasarkan hasil pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA V5 R19 maka desain kondensor tipe kompak dapat digunakan sebagai salah satu komponen pada Untai Uji BETA dan aman untuk digunakan sebagai sarana penelitian.

## KESIMPULAN

Peningkatan tekanan dan temperatur sangat berpengaruh pada peningkatan tegangan mekanik material. Tegangan mekanik terbesar yang timbul pada tabung kondensor pada pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA V5 R19 sebesar  $4,61 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> pada tekanan desain 10 atm dan temperatur desain 90 °C. Tegangan mekanik tersebut relatif lebih kecil daripada kekuatan material *Stainless Steel* 316 yang digunakan sebesar  $2,05 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup> dan masih berada didaerah elastis material. Dengan demikian desain kondensor tipe kompak dapat difabrikasi dan aman digunakan sebagai sarana peneltian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada para staff Subbid. Termohidrolika-BOFa dan Bapak Ismu Handoyo atas diskusi, saran dan dukungan moril yang telah diberikan sehingga terwujudnya makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. KHAIRUL H dkk., "Simulasi Fenomena Loca di Teras Reaktor Melalui Pemodelan Eksperimental. (II). Rancang Bangun Untai Uji BETA", Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir V, Serpong, 2000.
- [2]. Mhd. DAUD PINEM, S.T., "CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi", Kawah Media, Jl. H. Montong No. 57, Ciganjur-Jagakarsa, Jakarta Selatan 12630, 2009.
- [3]. [http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless\\_steels](http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless_steels), Juli 2010
- [4]. AK Steel Corporation, Product Data Bulletin 316/316L Stainless Steel, 9227 Centre Point Drive, West Chester, OH 45069.