

## Analisis Kekuatan Mekanik pada Struktur Cooling Tank Section Untai FASSIP-03 NT Berbasis Simulasi *Software*

*Mechanical Strength Analysis on the Structure of Cooling Tank Section in FASSIP-03 NT Loop Based on Software Simulation*

Dedy Haryanto\*, Giarno, Adhika Enggar Pamungkas, Ainur Rosidi, Gregorius Bambang Heru Kusnugroho, Mulya Juarsa

Pusat Riset dan Teknologi Reaktor Keselamatan dan Keamanan Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Tangerang Selatan, Indonesia.

\*Corresponding author email: [dedy.haryanto@batan.go.id](mailto:dedy.haryanto@batan.go.id)



### Kata Kunci:

CTS; kekuatan mekanik; tegangan mekanik; *translational displacement*; FASSIP-03 NT

### Keywords:

CTS; mechanical strength; mechanical stress; *translational displacement*; FASSIP-03 NT

### Abstrak

Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif-03 *Nanobubble Transparent* (FASSIP-03 NT) mulai didesain pada tahun 2021. Komponen pada untai FASSIP-03 NT terdiri dari *Heating Tank Section* (HTS) dan *Cooling Tank Section* (CTS) yang dilengkapi dengan *Helical Heat Exchanger*, *Pyrex Glass Tube* dan sistem pemipaan. CTS berfungsi sebagai komponen untuk mensimulasikan penukar kalor dari teras reaktor nuklir. Pengujian secara simulasi dan analisisnya dilakukan untuk mengetahui kekuatan mekanik terdiri dari tegangan mekanik dan *translational displacement* pada desain komponen CTS. Hasil pengujian secara simulasi diperoleh tegangan mekanik maksimal sebesar  $1,61 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  lebih kecil daripada *yield strength* material stainless steel 304 sebesar  $1,73 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . *Translational displacement* yang terjadi sebesar 3,04 mm pada bagian sisi belakang CTS. Hasil pengujian secara simulasi dan analisisnya menunjukkan bahwa desain CTS dapat dipabrikasi dan aman digunakan sebagai penukar kalor pada untai FASSIP-03 NT.

### Abstract

The *Passive System Simulation Facility-03 Nanobubble Transparent* (FASSIP-03 NT) loop began to be designed in 2021. The components in the FASSIP-03 NT loop consist of a *Heating Tank Section* (HTS) and a *Cooling Tank Section* (CTS) equipped with a *Helical Heat Exchanger*, *Pyrex Glass Tube* and a piping system. CTS functions as a component to simulate the heat exchanger from the nuclear reactor core. Simulation testing and analysis were carried out to determine the mechanical strength consisting of mechanical stress and *translational displacement* in the design of CTS components. The results of simulation testing obtained a maximum mechanical stress of  $1.61 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  which is smaller than the *yield strength* of stainless steel 304 material of  $1.73 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . The greatest *translational displacement* that occurs is 3.04 mm on the back side of the CTS. The results of the simulation test and analysis show that the CTS design can be fabricated and is safe to use as a heat exchanger in the FASSIP-03 NT loop.

## PENDAHULUAN

Sistem pendinginan pasif pada instalasi nuklir berfungsi untuk proses pembuangan panas sisa hasil peluruhan yang terjadi secara terus menerus pada saat sistem pendinginan aktif tidak berfungsi akibat terjadinya *station blackout* (SBO). Dilengkapinya instalasi nuklir dengan sistem pendinginan pasif disamping sistem pendinginan aktif dan berfungsi dengan baik, maka pengoperasian instalasi nuklir menjadi lebih terjamin keamanannya (Juarsa, M., et al., 2018). Pada reaktor generasi baru, konsep pendinginan pasif sudah mulai digunakan pada reaktor generasi III+ dan disain reaktor generasi IV (Wang, Y., 2013) (IAEA, 2009).

Sistem pendingin pasif ini menjadi latar belakang dilakukannya kegiatan penelitian ini. Penelitian dilakukan menggunakan untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP) merupakan fasilitas uji eksperimen sistem pendingin pasif untuk mempelajari fenomena sirkulasi alami yang merupakan dasar dari sistem pendinginan

pasif (Sun, D., C., et al., 2017) (Juarsa, M., et al., 2011) (Antariksawan, A. R., 2000) (Kusuma M. H., et al., 2017) (Wang, M., et al., 2013) (Tjahjono, H., 2017). Prinsip dasar dari sistem pendingin pasif ini adalah adanya perubahan densitas fluida kerja karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terjadi sirkulasi alami. Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif-03 *Nanobubbles Transparent* (FASSIP-03 NT) menggunakan fluida *Nanobubbles* sebagai fluida kerja. *Nanobubbles* adalah rongga atau gelembung gas nanoskopis (biasanya udara) di dalam air yang memiliki kemampuan untuk mengubah karakteristik normal air. Gelembung biasa memiliki diameter yang berkisar dari 1  $\mu\text{m}$  dan lebih besar. Gelembung ini dengan cepat naik ke permukaan air dan runtuh. *Nanobubbles* adalah gelembung udara berdiameter <100 nm. Gelembung ini memiliki gaya *bouyancy* atau gaya apung ke atas yang rendah sehingga akan melayang secara acak yang disebut gerak *brownian* dan dapat tetap berada di dalam cairan untuk jangka waktu yang lama (Bauer Energy Design, 2021) (Moleaer™, 2021). Penggunaan *Nanobubbles* sebagai fluida kerja pada untai FASSIP-03 NT bertujuan untuk memperbesar kemampuan perpindahan panas pada fluida kerja tersebut sehingga sirkulasi alamiah dapat dengan mudah terjadi. Penelitian pendahuluan berupa penelitian eksperimental dan menggunakan *code* tentang sirkulasi alami telah dilakukan sebelumnya (Antariksawan, A. R., et al., 2018) (Antariksawan, A. R., et al., 2018) (Juarsa, M., et al., 2019).

*Cooling Tank Section* (CTS) adalah komponen untuk mensimulasikan penukar kalor. CST beroperasi pada tekanan 1 atm dan pada temperatur 27°C. Sistem pemipaan menghubungkan CST dengan komponen-komponen lainnya sehingga membentuk *loop* tertutup. Komponen CST mempunyai daya tampung fluida terbesar dan terletak pada lokasi yang paling tinggi dibandingkan dengan komponen-komponen lain pada untai FASSIP-03 NT. Sehingga untuk keamanan dan keselamatannya, diperlukan analisis untuk mengetahui kekuatan mekaniknya pada desain komponen CST sebelum digunakan sebagai penukar kalor.

Kegiatan penelitian adalah untuk mengetahui keamanan dan keselamatan komponen CTS dengan melakukan pengujian secara simulasi menggunakan *software Computer Aided Three-dimensional Interactive Application* (CATIA). Hasilnya dapat diketahui besar tegangan mekanik dan *translational displacement* pada model 3 dimensi CTS (Pinem, M. D., 2009). Kemudian dibandingkan dengan yield strenght material SS 304 yang digunakan oleh komponen CST (Anonim, 2011).

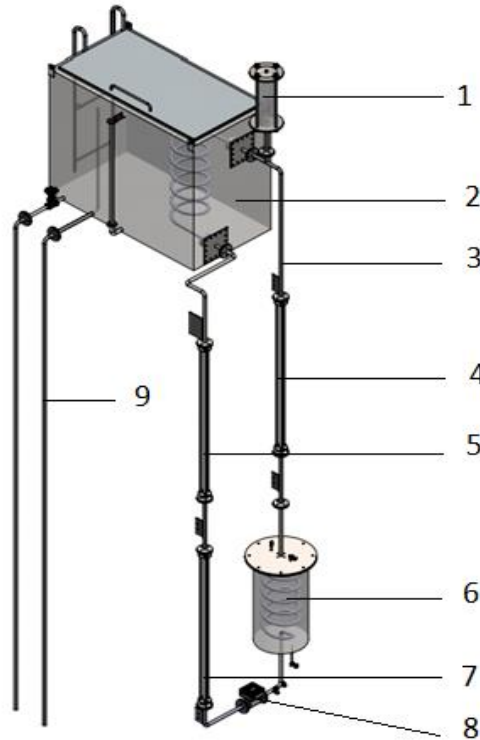
## METODE PENELITIAN

### *Desain Cooling Tank Section*

Untai uji FASSIP-03 NT terdiri dari *Heating Tank Section*(HTS) dilengkapi dengan *Helical Heat Exchanger*, *Cooling Tank Section* (CTS) dilengkapi dengan *Helical Heat Exchanger*, *Pyrex Glass Tube* dan sistem pemipaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Analisis perlu harus dilakukan sebelum tahapan pabrikasi dan pengoperasian untuk mengetahui keamanan dan keselamatan desain tersebut. Analisis kekuatan mekanik dilakukan secara simulasi. Analisis secara simulasi ini telah dilakukan pada komponen-komponen fasilitas uji lainnya yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan mekanik dari desain komponen-komponen fasilitas uji tersebut (Haryanto, D., et al., 2020) (Haryanto, D., et al., 2018) (Haryanto, D., et al., 2018) (Haryanto, D., et al., 2020).

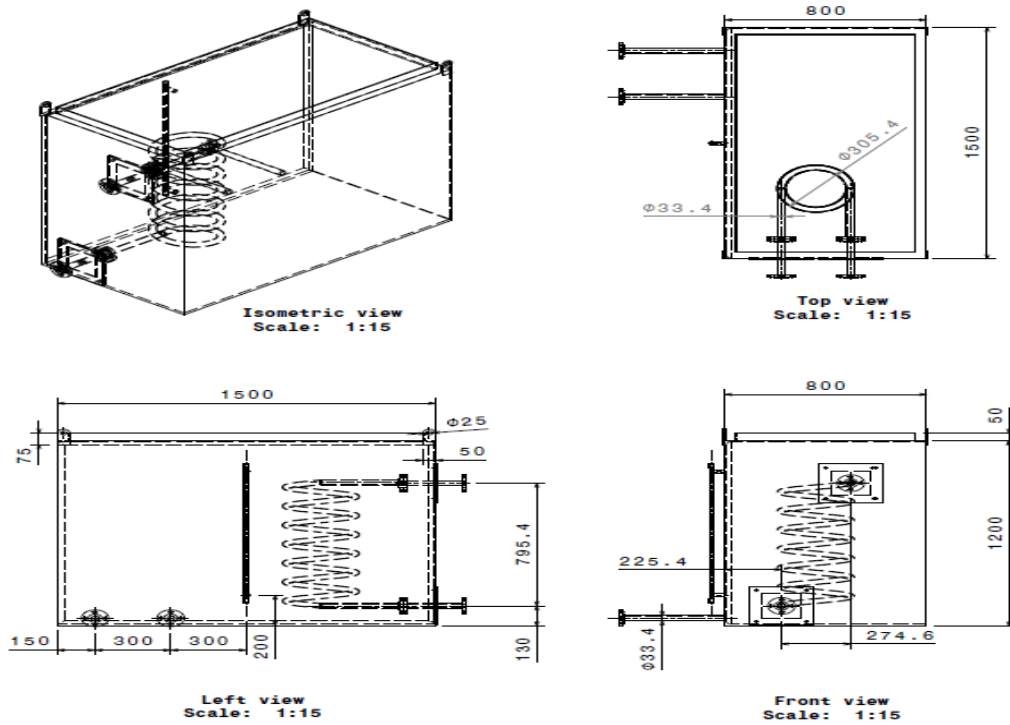
Komponen CST berfungsi sebagai penukar kalor sehingga mempunyai sisi primer dan sisi sekunder. Sisi primer CST berupa pipa *helical* dengan diameter 1 inci, di dalam pipa *helical* mengalir fluida *nanobubbles* yang merupakan fluida kerja untai FASSIP-03 NT. Sisi sekunder CST mempunyai ukuran 1500 mm x 800 mm x 1200 mm berisikan air. Pemipaan input, output, *drain* dan *filling* menggunakan pipa *stainless steel* 304 diameter 1 inci *schedul 20* (sch. 20). Flange yang digunakan bertipe *slip on 150 lb flange 1 inch* (Byrne, R. C., 1988). Desain komponen CTS seperti diperlihatkan pada Gambar 2 menggunakan material pelat *stainless steel* 304 dengan ketebalan 3 mm.



Keterangan :

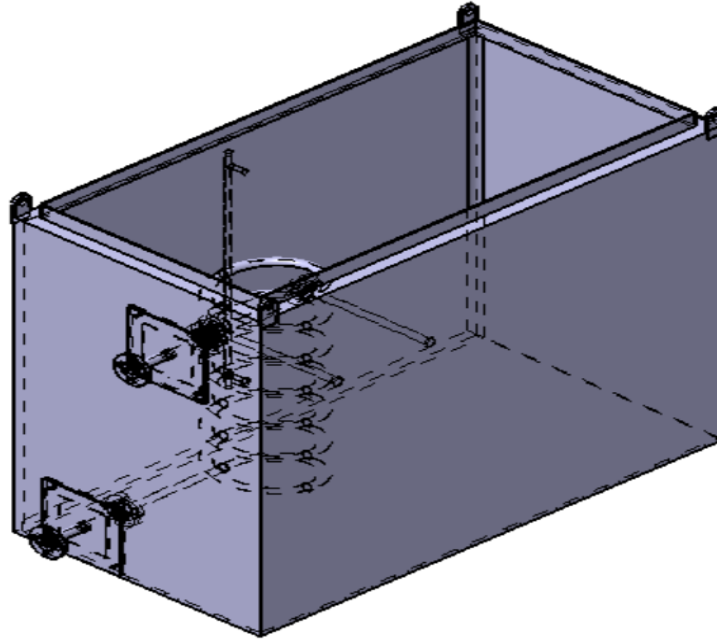
1. *Expasion tank*
2. *Cooling tank section*
3. *Pemipaan*
4. *Pipa pyrex 1*
5. *Pipa pyrex 2*
6. *Heating tank section*
7. *Pipa pyrex 3*
8. *Flowmeter*
9. *Pemipaan pengisian dan drain Cooling tank section*

**Gambar 1.** Untai FASSIP-03 NT



**Gambar 2.** Bentuk dan dimensi *Cooling Tank Section*

Gambar 3 adalah bentuk pemodelan 3-dimensi dari CTS yang akan digunakan dalam pengujian secara simulasi. Pada pemodelan tersebut diaplikasikan sifat mekanik berdasarkan material yang digunakan dalam desain CTS dalam hal ini adalah stainless steel 304 terlihat pada Tabel 1.



**Gambar 3.** Model 3-dimensi *Cooling Tank Section*

**Tabel 1.** Sifat mekanik stainless steel 304

Parameter	Nilai
<i>Young Modulus</i>	$1,93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
<i>Poisson Ratio</i>	0,29
<i>Density</i>	$7800 \text{ kg/m}^3$
<i>Thermal Expansion</i>	$1,72 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
<i>Yield Strength</i>	$1,73 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Sumber: (Anonim, 2011)

Dengan demikian maka melalui pengujian secara simulasi dapat diketahui kekuatan mekanik meliputi tegangan mekanik dan *translational displacement* pada desain *Cooling Tank Section*.

#### *Tahapan simulasi*

Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah :

##### *1. Pembuatan model 3-dimensi*

Diperlukan adanya model 3-dimensi untuk pengujian secara simulasi menggunakan software CATIA.

## 2. *Pembebanan*

Pembebanan terjadi pada dinding bagian dalam CST secara merata berupa tekanan hidrostatik ditambah tekanan operasional 1 atm, temperatur kamar, dan percepatan grafitasi. Pembebanan diberikan sebesar beban saat operasional., 1,5 kali dari beban operasional dan 2 kali beban operasional.

## 3. *Restrain*

Pada pengujian ini posisi model 3-dimensi harus pada posisi stabil. Sehingga diperlukan restraint yang mensimulasi kondisi stabil sebenarnya pada komponen CST.

## 4. *Running pengujian secara simulasi*

Setelah model 3-dimensi dilengkapi dengan sifat mekanik material, pembebanan, dan restraint maka pengujian secara simulasi dapat dilaksanakan. Hasil pengujian diketahuinya kekuatan mekanik dari desain CST.

### *Perhitungan tekanan hidrostatik*

Sesuai dengan peraturan Kemenaker untuk pengujian bejana tekan, pengujian dilakukan dengan besar tekanan dan temperatur pengujian sebesar 1,5 kali dari tekanan dan temperatur operasional (Kemenaker, 2016). Tekanan hidrostatik air yang mengenai dinding bak CST secara merata pada bagian dalam dihitung dengan persamaan (Daugherty, 1989):

$$p = p_0 + \rho \times g \times h \quad (1)$$

Dengan:

$p$	=	Tekanan hidrostatik (N/m <sup>2</sup> )
$p_0$	=	Tekanan 1 atm = 100000 N/m <sup>2</sup>
$\rho$	=	Densitas air (kg/m <sup>3</sup> )
$g$	=	Percepatan grafitasi (m/s <sup>2</sup> )
$h$	=	Ketinggian permukaan air (m)

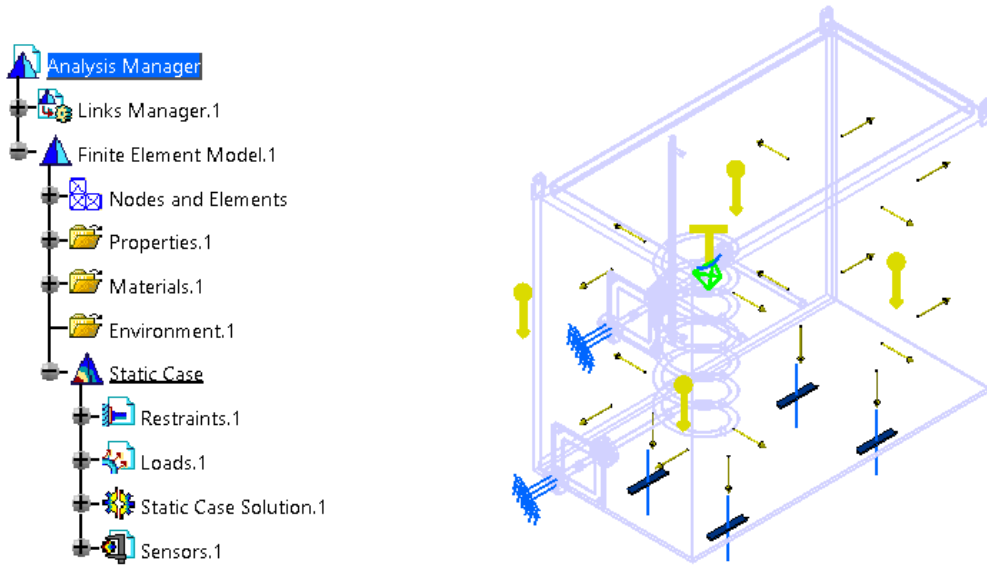
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tekanan hidrostatik yang mengenai dinding bagian dalam pada CST adalah sebesar :

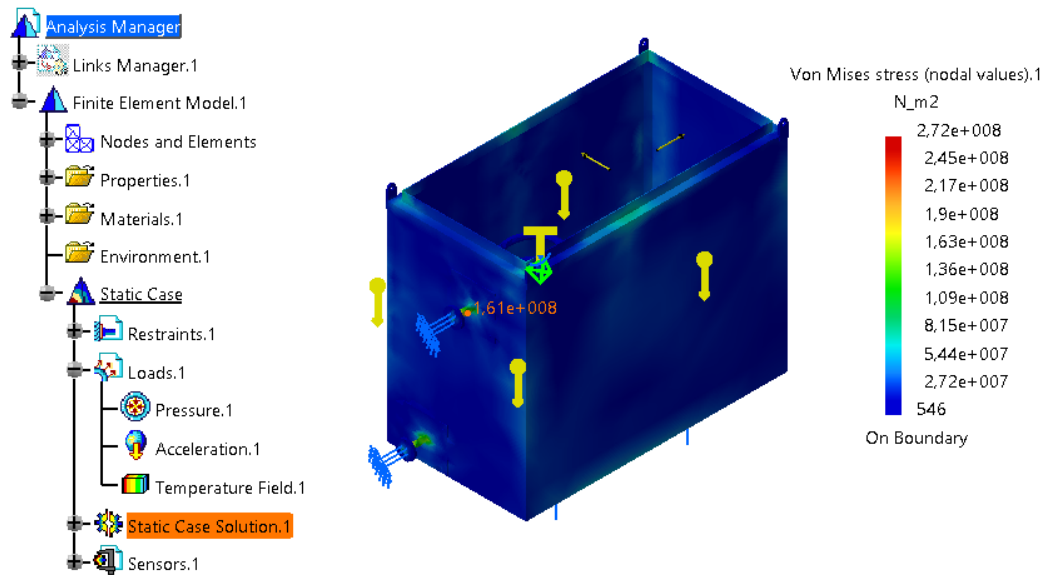
$$p = 100000 \text{ (N/m}^2\text{)} + (1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 10 \text{ (m/s}^2\text{)} \times 1,2 \text{ (m)}) = 112000 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Tekanan hidrostatik sebesar 112000 N/m<sup>2</sup> merupakan tekanan operasional CST, sedangkan temperature operasional CST sebesar 27°C (300 K). Beban pengujian sebesar beban operasional, 1,5 kali beban operasional dan 2 kali beban operasional. Pengaplikasian pembebanan pada model model 3-dimensi ditunjukkan pada Gambar 4.

*Restrain* tipe *clamp* pada bagian flange dan *restrain* tipe *slider* dinding dasar bagian luar. Hal ini mensimulasikan bahwa CST pada posisi statis di atas struktur FASSIP-03 NT sehingga masih memungkinkan terjadinya pergeseran akibat pemuaian kearah horisontal Y+ (ke arah sisi belakang CST). Pemuaian kearah Y+ masih memungkinkan untuk terjadi karena bagian belakang CST dibebaskan dari *clamp*. Beban tekanan hidrostatik sebesar 112000 N/m<sup>2</sup> menekan merata pada dinding bagian dalam model 3 dimensi CST. Temperatur kamar sebesar 27°C (300 K) mengenai dinding bagian dalam secara merata serta percepatan gravitasi sebesar 10 m/s<sup>2</sup> yang mengenai seluruh bagian model 3-dimensi CST.



**Gambar 4.** Pembebanan pada model 3 dimensi *Cooling Tank Section*



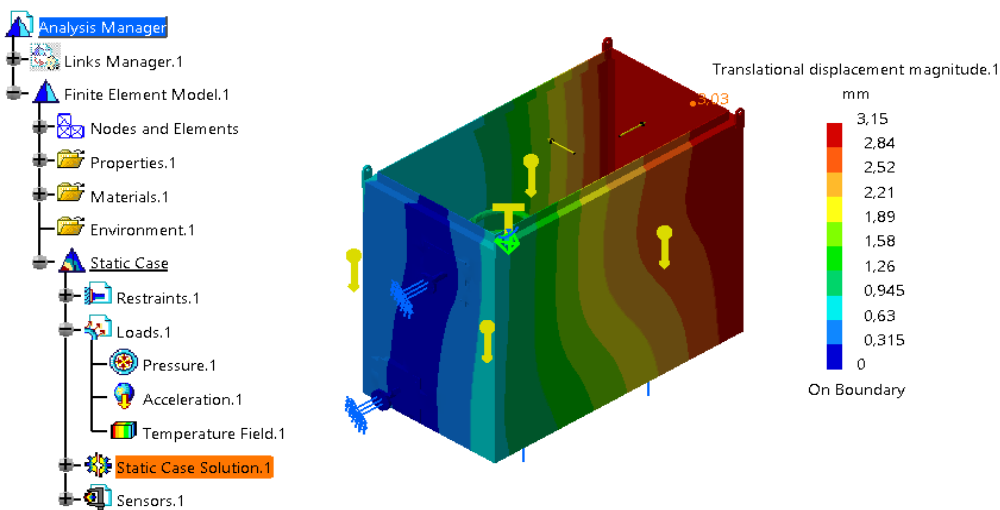
**Gambar 5.** Tegangan mekanik pada beban 112000 N/m<sup>2</sup>

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian tegangan mekanik pada desain CST. Hasil pengujian tersebut menunjukkan adanya tegangan mekanik terbesar sebesar  $1,61 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  pada bagian pemipaan input CST. Tegangan mekanik tersebut tidak berakibat buruk pada desain CST yang bermaterial stainless steel 304. Besar tegangan mekanik yang terjadi pada bagian *body* CST hampir seluruh permukaannya lebih kecil daripada *yield strength* material stainless steel 304 yaitu sebesar  $1,73 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  (berwarna biru) dan masih berada didaerah elastis material yang digunakan. Hasil tegangan mekanik dengan beban bervariasi ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian tegangan mekanik

No.	Besarnya Beban		Kondisi	Hasil Pengujian
	Tekanan (N/m <sup>2</sup> )	Temperatur (K)		Tegangan mekanik (N/m <sup>2</sup> )
1.	1120000	300,0	Operasional	1,61 x 10 <sup>8</sup>
2.	1680000	313,5	1,5 x Operasional	1,74 x 10 <sup>8</sup>
3.	2240000	327,0	2,0 x Operasional	3,89 x 10 <sup>8</sup>

Hasil pengujian menunjukkan pada saat beban tekanan dan temperatur operasional tegangan mekanik terbesar yang terjadi lebih kecil daripada *yield strength* material. Makin ditingkatkan bebannya makin meningkat pula tegangan mekanik terbesar yang terjadi dan melebihi *yield strength* material. Perlu diingat bahwa CST dioperasikan tidak melebihi dari tekanan operasional hal ini karena bentuk disain CST yang tidak memungkinkan untuk dioperasikan melebihi dari tekanan operasional. Sehingga tegangan mekanik yang terjadi pada CST tidak melebihi dari *yield strength* material saat CST dioperasikan. Gambar 6 berikut ini adalah hasil pengujian *translational displacement* pada desain CST.



**Gambar 6.** *Translational displacement* pada beban 112000 N/m<sup>2</sup>

*Translational displacement* terbesar yang terjadi pada desain CST sebesar 3,03 mm pada saat dikenakan beban tekanan dan temperatur operasional. *Translational displacement* sebesar 3,03 mm ke arah Y+ (ke arah bagian belakang CST) tersebut tidak mempengaruhi bentuk CST. Jika dibandingkan dengan ukuran desain CST ternyata hanya 0,002 (1/500) dari ukuran total panjang CST. Hasil pengujian dengan beban bervariasi ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil pengujian *translational displacement*

No.	Besarnya Beban		Kondisi	Hasil Pengujian
	Tekanan (N/m <sup>2</sup> )	Temperatur (K)		<i>Translational displacement</i> (mm)
1.	1120000	300,0	Operasional	3,03
2.	1680000	313,5	1,5 x Operasional	4,56
3.	2240000	327,0	2,0 x Operasional	6,11



Hasil pengujian menunjukkan, semakin besar beban yang diberikan pada CST maka *translational displacement* yang terjadi juga semakin besar.

## KESIMPULAN

Melalui pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA pada tekanan dan temperatur operasional, diperoleh tegangan mekanik yang dihasilkan sebesar  $1,61 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  pada bagian pemipaan input CST. Tegangan mekanik yang terjadi lebih kecil daripada *yield strength* material stainless steel 304 yaitu sebesar  $1,73 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . *Translational displacement* sebesar 3,03 mm sangat kecil jika dibandingkan dengan dimensi CST sehingga tidak mengakibatkan perubahan bentuk pada CST. Semakin besar beban berupa tekanan dan temperatur diberikan maka tegangan mekanik dan *translational displacement* yang terjadi juga semakin besar. Desain CST aman untuk dipabrikasi dan dioperasikan guna mendukung penelitian menggunakan untai FASSIP-03 NT.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Riset Inovatif Produktif (RISPRO) Mandatori Prioritas Riset Nasional Produk PLTN Komersial 2020-2021 dengan judul “Pengembangan Teknologi Pendingin Pasif Berbasis Fluida *Nanobubbles* untuk Peningkatan Manajemen Keselamatan PLTN Tipe Besar dan SMR” yang telah membiayai penelitian. Kepala Pusat Riset Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, di Subbidang Fasilitas Termohidrolika atas diskusi teknis.

## REFERENSI

- Anonim. (2011), Yield strength-strength (mechanics) of materials strength/mechanics of materials, <http://www.engineersedge.com>, December 1<sup>st</sup>.
- Antariksawan A., R. (2000). Accident analysis of PWR station blackout with pump seal leak using Melcor 1.8. 4, *Proceeding of the Sixth: Seminar on Technology and Safety of Nuclear Power Plants and Nuclear Facilities*, 1 November 2000.
- Antariksawan, A. R., Widodo, S., Juarsa, M., Giarno, Kusuma, M. H., & Putra, N. (2018). Preliminary investigation of natural circulation stability in FASSIP-01 experimental facility using RELAP5 code, *AIP Conference Proceedings*, 2001(1). <https://doi.org/10.1063/1.5050011>
- Antariksawan, A. R., Juarsa, M., Giarno, Kusuma, M. H., & Putra, N. (2018). Simulation of operational conditions of FASSIP-02 natural circulation cooling system experimental loop. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia (Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology)*, 19(1), 41-52. <http://doi.org/10.17146/jstni.2018.19.1.4036>
- Bauer Energy Design, (2021), <http://www.nanobubbles.com/>, accessed on July 24<sup>th</sup>.
- Byrne, R., C. (1988). Standard of the tubular exchanger manufacturers association, tubular exchanger manufacturers association, (TEMA) Inc, 25 North Broadway Tarrytown, New York 10591 seventh edition.
- Daugherty, R. L. (1989). *Fluid mechanics with engineering applications*. McGraw-Hill.
- Haryanto, D., Giarno, G., Kusnugroho, G. B. H., & Juarsa, M. (2020). Analisis kekuatan mekanik main steam generator pada fasilitas PASCONEL, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2020* (ISSN:2355-7524), 18 November 2020.



- Haryanto, D., Giarno, G., Witoko, J. P., Hatmoko, S., Santosa, K., Juarsa, M., Kusuma, M. H., Antariksawan, A. R., & Putra, N. (2018). Analisis kekuatan mekanik struktur dengan penambahan beban komponen FASSIP-02 menggunakan software CATIA. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir Tahun 2018*, ISSN: 2355-7524.
- Haryanto, D., Giarno, G., Witoko, J. P., Hatmoko, S., Santosa, K., Juarsa, M., Kusuma, M. H., Antariksawan, A. R., & Putra, N. (2018). Analisis kekuatan mekanik water cooling tank pada fasilitas uji untai PASSIF-02 menggunakan CATIA. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin POROS*, 16(1), 79-85. <http://doi.org/10.24912/poros.v16i1.6296>
- Haryanto, D., Rosidi, A., Kusnugroho, G. B. H., Giarno, G., Witoko, J. P. (2020). Analisis kekuatan mekanik desain bejana molecular sieve. *Sigma Epsilon*, 24(1), 44-53. <http://doi.org/10.17146/sigma.2020.24.1.5821>
- IAEA, (2009), Passive safety system and natural circulation in water cooled nuclear power plants, *IAEA-TECDOC-1624*.
- Juarsa, M., Antariksawan, A. R., Kusuma, M. H., Haryanto, D., & Putra, N. (2018). Estimation of natural circulation flow based on temperature in the FASSIP-02 large-scale test loop facility, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 105(1). <http://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012091>.
- Juarsa, M., Antariksawan, A. R., Kusuma, M. H., Haryanto, D., & Putra, N. (2019). Preliminary investigation on natural circulation flow using CFD and calculation base on experimental data pre-FASSIP-02. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(2), [022073]. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/2/022073>.
- Juarsa, M., Haryanto, D., Rosidi, A., Kusnugroho, G. B. H., & Giarno, G. (2011). Studi eksperimen laju aliran massa air berdasarkan perubahan sudut kemiringan untai pada kasus sirkulasi alamiah menggunakan untai sirkulasi alamiah (USSA-FT01). *Jurnal Material dan Energi Indonesia, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Padjajaran*, 1, 22-30.
- Kusuma, M. H., Putra, N., Ismawanti, S., & Widodo, S. (2017). Simulation of wickless-heat pipe as passive cooling system in nuclear spent fuel pool using RELAP5/MOD3.2. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(3), 836-842. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.3.2144>
- Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia. (2016). Keselamatan dan kesehatan kerja bejana tekan dan tangki timbun, Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 20.
- Moleaer. (2021). <https://www.moleaer.com/nanobubbles>, accessed on July 24<sup>th</sup>,
- Pinem, M. D., (2009). *CATIA si jago desain tiga dimensi*. *LinguaKata*.
- Sun, D. C., Li, Y., Xi, Z., Zan, Y. F., Li, P. Z., & Zhuo, W. B. (2017). Experimental evaluation of safety performance of emergency passive residual heat removal system in HPR1000. *Nuclear Engineering and Design*, 318, 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.04.003>
- Tjahjono, H. (2017). Comprehensive prediction of thermosyphon characteristics in reactor passive cooling system simulation loop FASSIP-01. *Atom Indonesia*, 43(3), 157-166. <https://doi.org/10.17146/ajj.2017.777>
- Wang, M., Tian, W., Qiu, S., Su, G., & Zhang, G. (2013). An evaluation of designed passive core makeup tank (CMT) for China pressurized reactor (CPR1000). *Annals of Nuclear Energy*, 56, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2013.01.010>
- Wang, Y. (2013). Preliminary study for the passive containment cooling system analysis of the advanced PWR. *Energy Procedia*, 39, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.210>