

Analisis Kekuatan Mekanik pada Desain *Water Heating Tank* di Untai FASSIP-02

Dedy Haryanto, Joko Prasetyo W., Giarno, Kussigit Santosa, Sumantri Hatmoko,
Mulya Juarsa, Mukhsinun Hadi Kusuma

*Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314, Indonesia
Email address : dedy.haryanto@batan.go.id*

Abstrak—Analisis Kekuatan Mekanik Pada Desain *Water Heating Tank* Di Untai FASSIP-02. Untai FASSIP-02 merupakan fasilitas eksperimen sistem pendingin pasif untuk pengambilan panas sisa hasil peluruhan yang dihasilkan oleh teras reaktor pada kondisi kecelakaan. Komponen pada fasilitas ini antara lain; *water heating tank*, pemipaan, *expansion tank* dan *water cooling tank*. *Water heating tank* berfungsi untuk mensimulasikan teras reaktor yang membangkitkan panas sisa hasil peluruhan di teras reaktor. Untuk mengetahui kekuatan mekanik *water heating tank*, maka perlu dilakukan analisis kekuatan mekanik pada *water heating tank*. Penelitian ini bertujuan mengetahui kekuatan mekanik *body* dan *support* pada desain *water heating tank* yang akan dibuat. Analisis terhadap desain *water heating tank* dilakukan dengan *software Computer Aided Three-dimensional Interactive Application (CATIA)*. Tahapan yang dilakukan dalam menganalisis kekuatan mekanik *water heating tank* meliputi; pembuatan model 3-dimensi, memasukkan data sifat mekanik material yang digunakan, serta mensimulasikan pengoperasian pada tekanan uji 20 bar dan temperatur 100°C. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa tegangan mekanik *body* dan *support* pada desain *water heating tank* adalah $7,05 \times 10^7$ N/m² dan $4,76 \times 10^7$ N/m². Tegangan mekanik tersebut memiliki nilai yang lebih kecil dari *yield strength* materialnya dan masih berada di daerah elastis masing-masing material. *Translational displacement* terbesar pada *body* dan *support* adalah sebesar 1,79 mm dan 0,125 mm. Nilai ini sangat kecil sehingga tidak akan merubah bentuk *body* dan *support* dari *water heating tank*. Dengan demikian desain *body* dan *support* dari *water heating tank* dapat dipabrikasi dan aman untuk digunakan pada eksperimen dengan tekanan operasi 10 bar dan temperatur 80 °C.

Kata kunci : *Yield strength, water heating tank, translational displacement*, tegangan mekanik.

Abstract—*Analysis On The Strength Of Mechanical Of The Water Heating Tank Design At FASSIP-02 Loop. It is a passive cooling system experimental facility for heat recovery of decay results generated by the reactor core at accident condition. Components of this facility include; water heating tank, piping, expansion tank and water cooling tank. Water heating tank serve to simulate the reactor core generating the residual heat of the decay results in the reactor core. To know the mechanical strength of the water heating tank, it is necessary to analyze the mechanical strength of the water heating tank. This study aims to determine the mechanical strength of the body and supporting the design of water heating tanks to be made. The analysis of water heating tank design is done with Computer Aided Three-dimensional Interactive*

Application (CATIA). Stages performed in analyzing the mechanical strength of water heating tanks include; 3-dimensional modeling, inserting data on mechanical properties of material used, and simulating operation at test pressure 20 bar and temperature 100°C. The results show that the mechanical stress of the body and supporting on the design of water heating tanks is 7.05×10^7 N/m² and 4.76×10^7 N/m². The mechanical stress has a value smaller than the yield strength of the material and is still in the elastic region of each material. The largest translational displacement of the body and supporting is 1.79 mm and 0.125 mm. This value is so small that it will not change the body shape and support of the water heating tank. Thus the body and supporting design of the water heating tank can be fabricated and safe for use in experiments with 10 bar operating pressure and 80°C temperature.

Keywords : *Yield strength, water heating tank, translational displacement, mechanical stress.*

PENDAHULUAN

Pembuangan panas sisa hasil peluruhan (*decay heat*) menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan sehubungan dengan pembangkitan kalor yang tetap dihasilkan oleh bahan bakar pada saat reaktor nuklir mengalami *shutdown*. Kalor yang dibangkitkan tersebut harus dibuang ke lingkungan agar tidak terjadi akumulasi panas di dalam sungkup reaktor. Dengan demikian kecelakaan yang mungkin ditimbulkan akibat akumulasi panas dapat dihindari dan keselamatan sistem reaktor dapat terjaga.

Kecelakaan parah pada pembangkit tenaga nuklir Fukushima Dai-ichi di Jepang pada tahun 2011 menjadi contoh kecelakaan reaktor yang disebabkan oleh gagalnya sistem pendingin membuang panas sisa hasil peluruhan yang dihasilkan. *Station blackout* yang terjadi karena tsunami merendam kawasan reaktor menyebabkan generator diesel tidak dapat difungsikan sebagaimana mestinya dan mengakibatkan sistem pendingin aktif tidak dapat bekerja untuk membuang kalor. Kejadian kecelakaan ini menjadi pelajaran sangat berharga untuk terus meningkatkan keselamatan nuklir agar kecelakaan serupa tidak terulang. Keterlibatan sistem pendingin pasif untuk membuang panas sisa hasil peluruhan mulai diperhitungkan untuk menjadi *redundant* ketika sistem aktif mengalami kegagalan fungsi [1-4].

Secara umum, tujuan dari diterapkan sistem keselamatan pasif adalah untuk meningkatkan keselamatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Sistem pasif dapat membuang panas sisa hasil peluruhan tanpa memerlukan bantuan sumber listrik, pompa dan sumber eksternal lainnya [5]. Sistem keselamatan pasif bekerja dengan prinsip sirkulasi alamiah (*natural circulation*) memanfaatkan perbedaan kerapatan fluida dan gravitasi [6]. Fenomena sirkulasi alamiah adalah fenomena yang muncul berdasarkan hukum fisika yaitu akibat perbedaan kerapatan fluida yang dipengaruhi oleh temperatur dan perbedaan ketinggian fluida [7].

Dalam rangka untuk menghasilkan suatu sumbangan pada dunia keselamatan nuklir, maka di Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional, akan dibuat sebuah *loop* sirkulasi alamiah yang dinamakan Fasilitas Simulasi Sistem Pasif-02 (FASSIP-02). Fasilitas ini digunakan untuk menginvestigasi kemampuan sistem pendingin pasif dalam mengambil panas sisa hasil peluruhan pada suatu sistem reaktor generasi maju ketika mengalami kecelakaan akibat *station blackout*. Fasilitas tersebut terdiri dari beberapa komponen meliputi ; *water heating tank* (WHT), pemipaan, *expansion tank* (ET), dan *water cooling tank* (WCT).

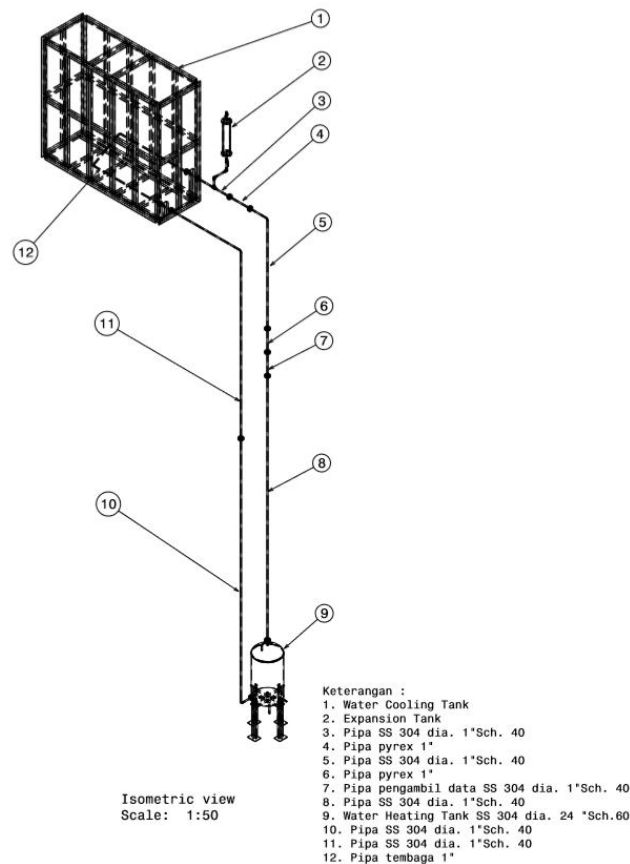
Sebelum pekerjaan fasilitas tersebut dilakukan, perlu dilakukan analisis mengenai kemampuan salah satu komponen yang akan dibuat. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai kekuatan mekanik pada

WHT. Hasil analisis yang didapatkan akan digunakan untuk mengetahui kekuatan desain mekanik WHT yang akan dibuat. WHT berfungsi sebagai fasilitas untuk mensimulasikan pembangkitan kalor di teras reaktor nuklir. Analisis dilakukan secara simulasi menggunakan *software Computer Aided Three-dimensional Interactive Application* (CATIA). *Software* ini terbukti akurat untuk mengetahui kekuatan mekanik struktur [8]. *Software* ini juga pernah digunakan untuk menganalisis struktur fasilitas eksperimen kanal dan *support* perangkat sumber pemanas [9, 10].

Dengan analisis ini akan diketahui besar kekuatan mekanik yang meliputi tegangan mekanik (*stress*) dan *translation displacement* pada WHT akibat pembebanan. Tahapan yang dilakukan dalam menganalisis kekuatan mekanik WHT meliputi pembuatan model 3-dimensi WHT, mengumpulkan data sifat-sifat mekanik material WHT yang digunakan dan melakukan simulasi kekuatan mekanik. Dengan membandingkan besar tegangan mekanik yang dialami oleh WHT terhadap *yield strenght* material yang digunakan maka dapat diketahui kekuatan mekanik WHT.

DESAIN WATER HEATING TANK

Untai FASSIP-02 yang akan dibangun terdiri dari beberapa komponen yang terangkai membentuk suatu instalasi tertutup seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



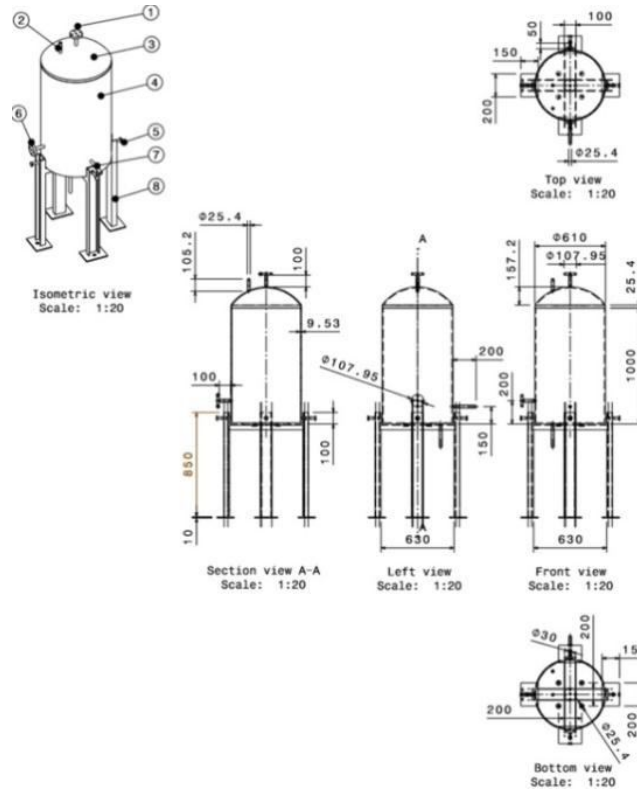
Gambar 1. Desain untai FASSIP-02

Fasilitas ini digunakan untuk mensimulasikan pendinginan pada teras reaktor tanpa menggunakan catu daya listrik, sehingga sirkulasi fluida yang terjadi diakibatkan karena adanya perbedaan kerapatannya.

Salah satu komponen untai FASSIP-02 adalah WHT yang berfungsi untuk mensimulasikan teras reaktor sebagai pembangkit kalor, dimana kalor yang dihasilkan

mengakibatkan temperatur fluida meningkat sehingga kerapatannya menjadi turun dan fluida akan mengalir keatas menuju WCT. WCT berfungsi mengambil kalor pada fluida sehingga temperatur fluida menurun dan berakibat kerapatannya naik, sehingga fluida akan mengalir kebawah menuju ke WHT.

Desain WHT ditunjukkan pada Gambar 2.

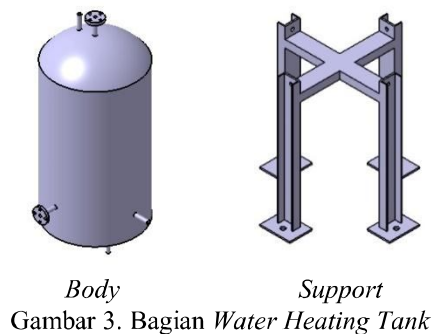


Keterangan :

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Flange 1" | 5. Baut pengatur posisi |
| 2. Pipa safety valve | 6. Flange 1" |
| 3. Cap 24 " | 7. Pipa input 1" |
| 4. Body 24 "sch. 20 | Support |

Gambar 2. Desain Water Heating Tank (WHT)

Desain WHT terdiri dari 2 bagian yaitu *body* dan *support*. Tujuannya adalah agar beban *body* dan fluida menjadi beban bagi *support*. Kedua bagian tersebut menggunakan jenis material yang berbeda. Pada *body* dilengkapi dengan empat buah *heater* dengan daya total 20 kW sedangkan pada *support* WHT dilengkapi dengan empat buah mur berukuran 20 mm yang berfungsi untuk menjaga posisi *body*. Desain *body* dan *support* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagian Water Heating Tank

Body menggunakan material *Stainless Steel 304* dan *support* menggunakan material *Carbon Steel AISI 1040*. Sifat-sifat mekanik *Carbon Steel AISI 1040* [11] dan *Stainless Steel 304* [12] ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanik bahan *Carbon Steel AISI 1040* dan *Stainless Steel 304*.

Sifat Mekanik	Carbon Steel AISI 1040
Young Modulus	$2,10 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Poisson Ratio	0,3
Density	7845 kg/m^3
Thermal Expantion	$1,36 \times 10^{-5} \text{ 1/K}$
Yield Strength	$3,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Sifat Mekanik	Stainless Steel 304
Young Modulus	$1,93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Poisson Ratio	0,29
Density	7800 kg/m^3
Thermal Expantion	$1,72 \times 10^{-5} \text{ 1/K}$
Yield Strength	$1,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Dengan menggunakan pemodelan 3-dimensi desain *body* dan *support* serta sifat-sifat mekanik *Carbon Steel* AISI 1040 dan *Stainless Steel* 304 sebagai data masukkan pada *software* CATIA. Maka pengujian secara simulasi untuk mengetahui kekuatan mekanik meliputi tegangan mekanik dan *translational displacement* pada *body* dan *support* dapat dilakukan.

METODOLOGI

Tahapan simulasi yang dilakukan dalam menganalisis kekuatan mekanik adalah sebagai berikut ;

1. Pembuatan model 3-dimensi.

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan model 3-dimensi *body* dan *support* pada untai FASSIP-02 dengan mengacu pada desain. Model tersebut dilengkapi dengan sifat-sifat material yang digunakan pada desain dan sebagai data masukan.

2. Pembebanan.

Pembebanan maksimal yang diberikan pada *body* dan *support* adalah berupa tekanan dan temperatur. Pada *body* beban berupa tekanan sebesar 10 - 20 bar dan temperatur 30-100 °C. Beban diberikan lebih besar 100% sampai dengan 300% dari beban operasional, bertujuan untuk mengetahui keandalan dan keamanan desain. Dimana tekanan operasi WHT 10 bar dan temperatur operasi WHT 80 °C. Pada pengujian *support*, beban yang diberikan 150% x (berat *body* + berat fluida). Besar beban

tersebut adalah $150\% \times 4.927,49 \text{ N} = 7.391,235 \text{ Newton}$ dengan arah vertikal kebawah (Z negatif) dan temperatur sebesar 30 °C.

3. Restrain.

Restrain mensimulasikan model 3-dimensi *body* dan *support* pada kondisi statis. *Restrain* harus diberikan pada model agar simulasi dapat dilakukan.

4. Pengujian tegangan mekanik.

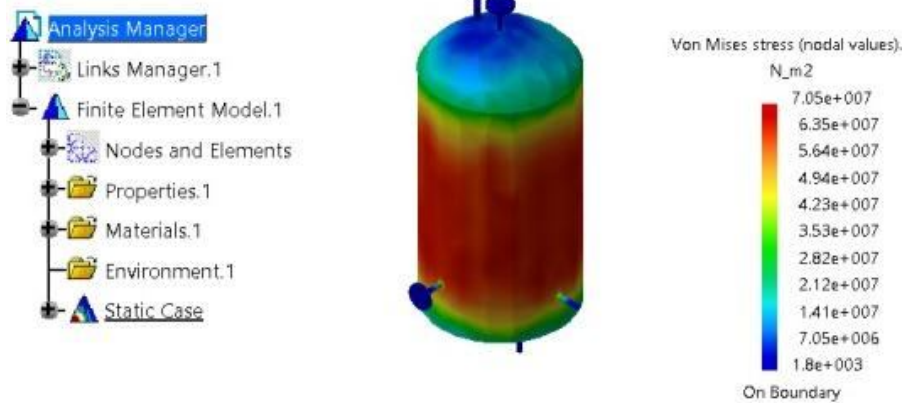
Model 3-dimensi diberikan input berupa sifat-sifat material, beban dan *restrain*. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui besaran tegangan mekanik dan *translational displacement* yang terjadi. Besaran tegangan mekanik dibandingkan dengan *yield strength* material yang digunakan sehingga dapat diketahui kekuatan mekanik desain *body* dan *support* pada untai FASSIP-02.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian secara simulasi dilakukan pada kedua bagian WHT secara terpisah. Hasil simulasi yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Penentuan besar tegangan mekanik pada *body* dan *support*.

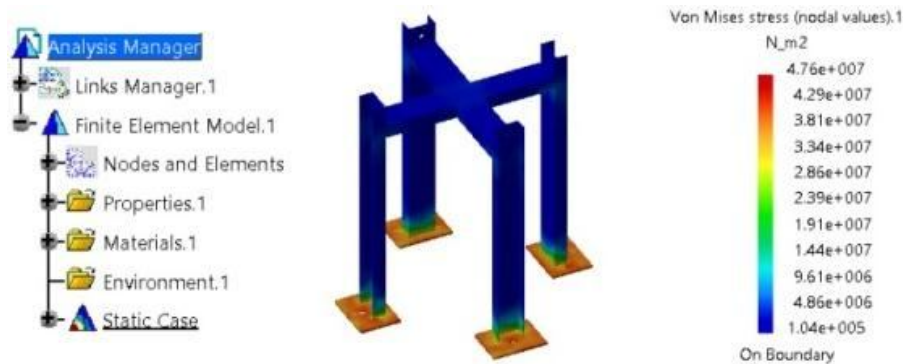
Pengujian secara simulasi pada *body* dengan beban berupa tekanan sebesar 20 bar dan temperatur sebesar 100 °C ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tegangan mekanik yang terjadi pada *body* WHT

Tegangan mekanik terbesar terjadi pada bagian tengah pada *body* dengan tegangan mekanik $7,05 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Hal ini terjadi karena pada bagian bawah tertumpu pada *support* dan desain pada bagian atas berupa *cap* yang berbentuk *elliptical*. Sehingga bagian tengah *body* merupakan bagian terlemah terhadap beban berupa tekanan dan temperatur.

Pengujian secara simulasi pada *support* dengan beban berupa berat *body* dan fluida isi WHT sebesar 150 % x $4.927,49 \text{ N} = 7.391,235 \text{ Newton}$ dengan arah vertikal kebawah (Z negatif) dan temperatur sebesar 30 °C memperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tegangan mekanik yang terjadi pada *support*.

Tegangan mekanik terbesar terjadi bagian alas dari *support* sebesar $4,76 \times 10^7$ N/m². Hal menunjukkan bahwa bagian *support* horizontal dan vertikal menggunakan besi kanal U dengan ukuran 100 mm x 50 mm x 5 mm berhasil merambatkan gaya berat kebagian alas *support*. Karena keempat alas *support* yang merupakan bagian terbawah dan di *restrain* tak bergerak pada lantai laboratorium, maka bagian tersebut mendapat tegangan mekanik terbesar.

2. Penentuan besar *translational displacement* yang terjadi pada *body* dan *support*.

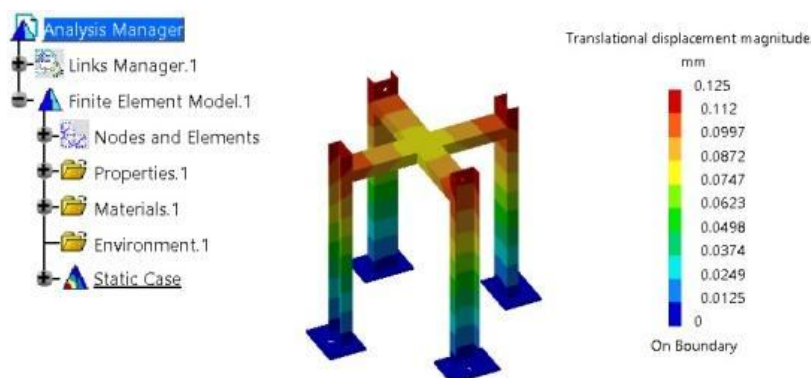
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya perubahan bentuk pada *body* dan *support*. Jika hasil pengujian memperoleh *translational displacement* yang sangat besar dibandingkan dengan ukuran *body* dan *support*, maka telah terjadi perubahan bentuk pada *body* dan *support*.



Gambar 6. *Translational displacement* yang terjadi pada *body* WHT

Hasil pengujian *translational displacement* pada *body* menghasilkan *translational displacement* terbesar terjadi pada bagian *cap* (bagian teratas *body*) sebesar 1,79 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Maka

direkomendasikan *support* pemipaan pada bagian atas dari WHT bisa bebas bergerak ke arah vertikal ke atas untuk menanggulangi *translational displacement*.



Gambar 7. *Translational displacement* yang terjadi pada *support*.

Hasil pengujian *translational displacement* pada *support* menghasilkan *translational displacement* terbesar terjadi pada ujung dimana baut reposisi ditempatkan

sebesar 0,125 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Celah antara dinding luar *body* dengan permukaan *support* sebesar 20 mm, sehingga *translational*

displacement terbesar yang terjadi tidak mengakibatkan perubahan bentuk pada *support* dan berakibat *body* WHT tertekan oleh *support* WHT. Data hasil pengujian secara

simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* CATIA seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian secara simulasi

Bagian <i>Water Heating Tank</i>	Tegangan Mekanik terbesar (N/m ²)	<i>Translational Displacement</i> terbesar (mm)	Beban	
			Tekanan (bar)	Temperatur (°C)
<i>Body</i>	3,58 x 10 ⁷	0,142	10	30
	5,22 x 10 ⁷	1,340	15	80
	7,05 x 10 ⁷	1,79	20	100
Beban				
<i>Support</i>	4,76 x 10 ⁷	0,125	7.391,235 N	

Tabel 2 menunjukkan, pengujian secara simulasi pada *body* dengan tekanan dan temperatur ditingkatkan mengakibatkan tegangan mekanik dan *translational displacement* naik besaran nilainya. Pada *body* dengan tekanan 20 bar dan temperatur 100 °C mengakibatkan tegangan mekanik sebesar 7,05 x 10⁷ N/m². Jika dibandingkan dengan *yield strength* material *Stainless Steel 304* sebesar 1,7 x 10⁸ N/m². Tegangan mekanik tersebut masih jauh lebih kecil dan masih berada didaerah elastis material sehingga jika beban dihilangkan maka bentuk *body* akan kembali ke bentuk seperti semula. *Translational displacement* terbesar 1,79 mm sangat kecil dan tidak mempengaruhi unjuk kerja dan bentuk dari *body*. Sedangkan pada *support* saat diberikan beban sebesar 7.391,235 N berupa berat WHT dan fluida, mengakibatkan tegangan mekanik terbesar 4,76 x 10⁷ N/m² lebih kecil dari pada *yield strength* material *Carbon Steel AISI 1040* 3,5 x 10⁸ N/m² dan masih berada pada daerah elastis material. *Translational displacement* pada *support* sebesar 0,125 mm, sangat kecil sehingga tidak merubah bentuk *support* dan tidak menekan dinding luar *body*.

SIMPULAN

Hasil analisis kekuatan mekanik *body* dan *support* menunjukkan bahwa tegangan mekanik terbesar pada *body* adalah 7,05 x 10⁷ N/m² pada tekanan uji 20 bar dan temperatur uji 100 °C, sedangkan pada *support* adalah 4,76 x 10⁷ N/m². Tegangan mekanik tersebut lebih kecil dari *yield strength* dan masih berada didaerah elastis masing-masing material. *Translational displacement* terbesar pada *body* 1,79 mm dan pada *support* 0,125 mm sangat kecil sehingga tidak merubah bentuk *body* dan *support*. Dengan demikian desain *body* dan *support* pada desain *water heating tank* dapat dipabrikasi dan aman saat penelitian dengan tekanan operasi 10 bar dan temperatur operasi 80 °C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh ; Program Insinas Riset Pratama berjudul Pengembangan Sistem Pendingin Pasif Untuk Manajemen Kecelakaan Reaktor Nuklir Menggunakan Teknologi *Heat Pipe* nomor kontrak 02/INS-2/PPK/E/E4/2017 tanggal 12 Juni – 8 Desember 2017 tahun anggaran 2017, Kepala

BPFKR selaku atasan langsung dan teman-teman Subbidang Fasilitas Termohidrolika atas diskusi teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. Kusuma, N. Putra, S. Ismarwanti, and S. Widodo, 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, vol. 7, pp. 836-842, 2017.
- [2] M. Juarsa, dkk. Studi eksperimental 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, vol. 1, pp. 22-30, 2011.
- [3] A. R. Antariksawan, Accident Analysis of PWR Station Blackout With Pump Seal Leak Using Melcor 1.8. 4, 2000.
- [4] V. Mente, G. Pandey, I. Banerjee, S. A. Kumar, G. Padmakumar, and K. Rajan, Experimental studies in water for safety grade decay heat removal of prototype fast breeder reactor, Annals of Nuclear Energy, vol. 65, pp. 114-121, 2014.
- [5] V. Jain, A. Nayak, P. Vijayan, D. Saha, and R. Sinha, Experimental investigation on the flow instability behavior of a multi-channel boiling natural circulation loop at low-pressures, Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 34, pp. 776-787, 2010.
- [6] Y. Zhang, S. Qiu, G. Su, and W. Tian, Design and transient analyses of emergency passive residual heat removal system of CPR1000. Part I: Air cooling condition, Progress in Nuclear Energy, vol. 53, pp. 471-479, 2011.
- [7] M. Wang, W. Tian, S. Qiu, G. Su, and Y. Zhang, An evaluation of designed passive Core Makeup Tank (CMT) for China pressurized reactor (CPR1000), Annals of Nuclear Energy, vol. 56, pp. 81-86, 2013.
- [8] M. D. Pinem, CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi, ed: Kawah Media, Jakarta, 2009.
- [9] D. Haryanto and H. Histori, Pengujian Kekuatan Mekanik Pada Support Perangkat Sumber Pemanas, SIGMA EPSILON-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir, vol. 15, 2011.
- [10] D. HARYANTO; and K. SANTOSA, Analisis Tegangan Mekanik Dan Translational Displacement Pada Struktur Experiment Kanal, in Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2015, Bali, 15-16 Oktober 2015.
- [11] D. HARYANTO; R. DJAMBIAR; and SAGINO, Analisis Rancangan Kit Holder Pada Mesin Universal Gerinding RUP/1500, in Seminar Penelitian Dan Pengelolaan

Perangkat Nuklir Pusat Sain dan Teknologi Akselerator,
Yogyakarta, 9 September 2014.

[12] M. Saini, N. Arora, C. Pandey, and H. Mehdi, Mechanical
Properties of Bimetallic Weld Joint between SA 516 Grade

65 Carbon Steel and SS 304 L For Steam Generator
Application, life, vol. 4, p. 8, 2014.