

ANALISIS UNJUK KERJA RANCANGAN *STEAM CONDENSATION TANK* BERBASIS SIMULASI SOFTWARE

Dedy Haryanto, Ainur Rosidi, Giarno, G. Bambang Heru K., Susyadi, Mulya Juarsa

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir,

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, 15314, Indonesia

**e-mail address: dedy.haryanto@batan.go.id*

ABSTRAK

ANALISIS UNJUK KERJA RANCANGAN *STEAM CONDENSATION TANK* BERBASIS SIMULASI SOFTWARE. *Steam condensation tank* merupakan salah satu komponen pada fasilitas *Passive Helical Coil Condensation System* (PaHCCS) pada PASCONEL yang berfungsi sebagai kondensor uap bertekanan. *Steam condensation tank* didesain menggunakan *tube stainless steel 304* (SS 304) dengan diameter luar 600 mm dan ketebalan 9,53 mm serta ketinggian total 2970,8 mm. *Steam condensation tank* dioperasikan pada tekanan 20 bar, temperatur diatas 100°C dan dilengkapi dengan *helical coil tube* sebagai pengambil kalor pada uap bertekanan. Simulasi unjuk kerja rancangan *steam condensation tank* ini bertujuan untuk mengetahui keselamatan dan keamanan saat dioperasikan. Analisis unjuk kerja dilakukan menggunakan *software* CATIA, dimana pemodelan 3-dimensi rancangan *steam condensation tank* dioperasikan secara simulasi dengan 1,5 kali dari tekanan dan temperatur operasional. Hasil analisis kekuatan mekanik mendapatkan tegangan mekanik terbesar sebesar $9,57 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ pada bagian tengah *shell* rancangan *steam condenser tank*. Tegangan mekanik tersebut tidak berdampak pada rancangan *steam condenser tank* berbahan SS 304 karena besar tegangan mekanik yang terjadi lebih kecil daripada *yield strength* material SS 304 yaitu sebesar $1,73 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan masih berada didaerah elastisnya. *Translational displacement* maksimal yang terjadi pada rancangan *steam condenser tank* sebesar 6,2 mm adalah sangat kecil dan 1/500 dari ukuran total panjang rancangan *steam condenser tank*. Dengan demikian rancangan *steam condenser tank* aman untuk digunakan sebagai sarana penelitian.

Kata kunci: *Steam Condensation Tank*, PASCONEL, tegangan mekanik, *translational displacement*

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF *STEAM CONDENSATION TANK* DESIGN BASED ON SOFTWARE SIMULATION. *Steam condensation tank* is one of the components in the *Passive Helical Coil Condensation System* (PaHCCS) facility at PASCONEL which functions as a condenser for pressurized steam. The *steam condensation tank* is designed using a 304 stainless steel tube (SS 304) with an outer diameter of 600 mm and a thickness of 9.53 mm and a total height of 2970.8 mm. Operated at a pressure of 20 bar, temperatures above 100 ° C and equipped with a *helical coil tube* as heat sink for pressurized steam. The simulation of the *steam condensation tank* design performance aims to see safety and security when it is operated. Performance simulation is carried out using CATIA software, where the 3-dimensional modeling of the *steam condensation tank* design is simulated with 1.5 times the operating pressure and temperature. The results of the analysis of mechanical strength obtained the greatest mechanical stress of $9.57 \times 10^7 \text{ N / m}^2$ in the middle of the shell of the *steam condenser tank* design. The mechanical stress did not affect the design of the *steam condenser tank* with SS 304 material because the amount of mechanical stress that occurred was smaller than the yield strength of SS 304 material which was $1.73 \times 10^8 \text{ N / m}^2$ and still in the elastic area. The maximum translational displacement that occurs in the *steam condenser tank* design of 6.2 mm is very small and is 1/500 of the total length of the *steam condenser tank* design. Thus, the *steam condenser tank* design is safe to use as a research facility.

Keywords: *Steam condensation tank*, PASCONEL, mechanical stress, *translational displacement*

PENDAHULUAN

Reaktor modular daya kecil (*Small Modular Reactor/SMR*) merupakan jenis reaktor pembangkit listrik tenaga nuklir yang sangat prospektif untuk dibangun di Indonesia karena sangat unggul dari aspek keselamatan, fleksibilitas pembangunan dan permodalan [1]. Desain dan kapasitas reaktor jenis ini cocok untuk dibangun di daerah terpencil dan daerah yang padat penduduknya, selain itu biayanya lebih terjangkau dan waktu konstruksinya juga lebih cepat. Salah satu keunggulan desain SMR adalah menerapkan konsep sirkulasi alam/sistem pasif untuk memindahkan panas dari bahan bakar ke pembangkit uap baik untuk operasi normal maupun saat kecelakaan. Jenis dari SMR salah satunya adalah reaktor *NuScale* yaitu reaktor jenis *integral Pressurized Water Reactor (iPWR)* yang dapat menghasilkan daya listrik sebesar 50 Mw. Desain *NuScale* mengandalkan pendinginan dengan sistem pasif (tanpa menggunakan pompa) saat beroperasi normal dan saat terjadi kecelakaan. Sistem pendinginan sistem pasif ini digunakan untuk pembuangan panas peluruhan (*decay heat removal system*) dan sistem pendinginan teras darurat (*emergency core cooling system*) [2].

Pembuatan fasilitas *Passive System Condensation Experiment Loop (PASCONEL)* untuk simulasi mendukung salah satu tugas PTKRN untuk penilaian

keselamatan PLTN besar dan SMR. Fasilitas PASCONEL adalah fasilitas uji simulasi untuk penelitian pendinginan pasif. Fasilitas ini mempunyai dua fasilitas uji simulasi yang dapat digunakan untuk dua topik penelitian yang berbeda. Fasilitas uji simulasi yang pertama adalah *Passive Heat Pipe Steam Condensation System (PaHPSCS)* yang digunakan untuk penelitian *passive decay heat removal* untuk PLTN besar menggunakan teknologi *thermosyphon*. Fasilitas uji simulasi yang kedua adalah *Passive Helical Coil Condensation System (PaHCCS)* yang digunakan untuk penelitian proses pendinginan pasif untuk jenis PLTN SMR berbasis sirkulasi alam. Penelitian tersebut dilatar belakangi oleh kejadian kecelakaan pada PLTN Fukushima Daiichi, Maret 2011 di Jepang. Sehingga pemanfaatan sistem pasif sebagai sistem keselamatan bantu ketika terjadi kecelakaan menjadi salah satu pilihan. Sistem keselamatan pasif diharapkan dapat beroperasi ketika seluruh sistem reaktor mengalami kejadian *station black out (SBO)* [3]. Beberapa fasilitas uji simulasi telah dibuat oleh PTKRN untuk melakukan penelitian tentang pendinginan pasif, fasilitas-fasilitas tersebut adalah fasilitas uji FASSIP-01 kemudian dikembangkan dengan membangun fasilitas uji FASSIP-02 dan dilanjutkan dengan FASSIP-02 mod.1 serta FASSIP-03 NT yang menggunakan *fluida Nanobubbles* yang mulai dibuat

desainnya pada tahun 2021. Serta telah dilakukan beberapa kajian, analisis serta perhitungan berdasarkan eksperimen menggunakan fasilitas tersebut [4-6].

Tahapan awal yang dilakukan pada pembuatan beberapa fasilitas uji adalah pembuatan desain fasilitas uji meliputi desain mekanik, desain instrumentasi dan desain kelistrikan. Pada bagian desain mekanik meliputi melakukan perhitungan baik secara perhitungan secara konvensional maupun perhitungan menggunakan *code* komputer sehingga didapat data untuk mendukung pembuatan gambar desain. Setelah gambar desain diperoleh dapat dilakukan analisis kekuatan mekanik dari masing-masing komponen pada fasilitas uji yang telah dilengkapi dengan jenis material yang digunakan. Analisis ini harus dilakukan sebelum tahapan pabrikan dan pengoperasian, analisis kekuatan mekanik yang telah dilakukan pada desain komponen fasilitas PASCONEL lainnya yaitu pada desain pada komponen *main steam generator* [7].

Steam condensation tank merupakan salah satu komponen di fasilitas uji *Passive Helical Coil Condensation System* (PaHCCS) pada fasilitas PASCONEL, berfungsi sebagai pengambil kalor pada uap bertekanan 20 bar dan bertemperatur diatas 100°C yang dibangkitkan oleh *main steam generator*. *Steam condensation tank* termasuk mempunyai resiko kecelakaan

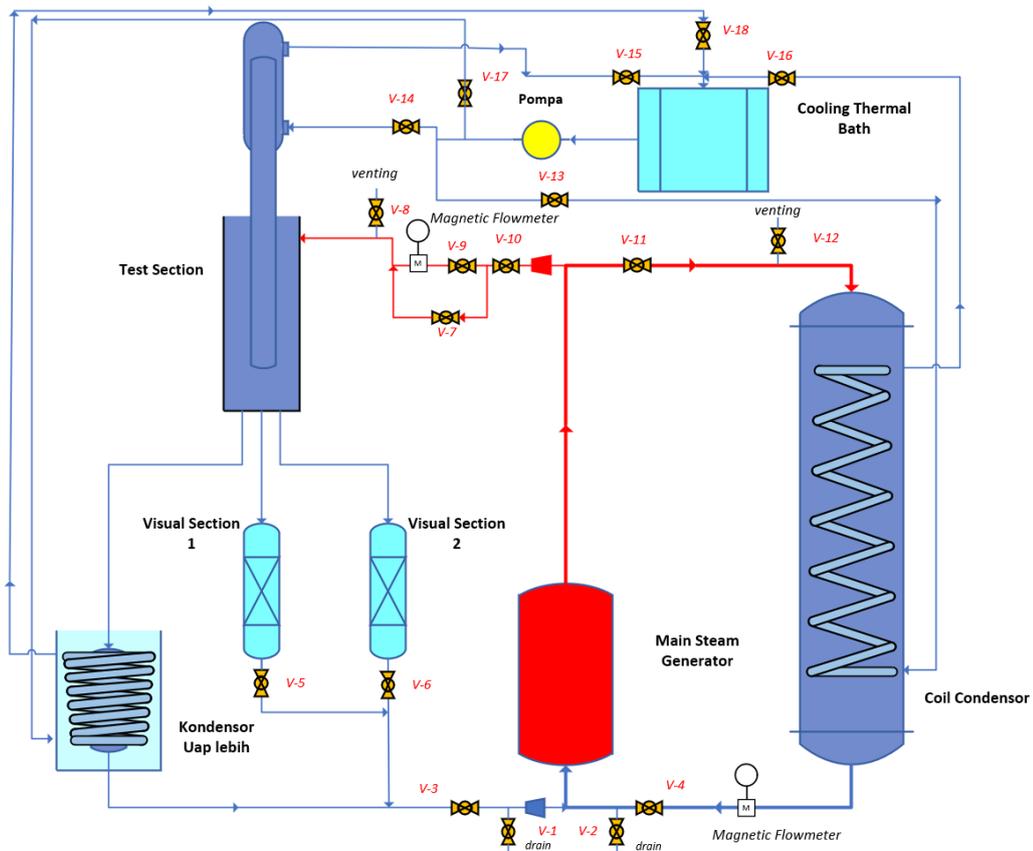
yang tinggi dibandingkan dengan komponen lainnya pada fasilitas PASCONEL sehingga diperlukan simulasi unjuk kerja untuk mengetahui kekuatan mekanik pada rancangan *steam condensation tank* sebelum dilakukan pabrikan dan selanjutnya digunakan sebagai kondensor uap bertekanan.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui kekuatan mekanik meliputi tegangan mekanik dan *translational displacement* pada *steam condensation tank* terhadap beban tekanan dan temperatur, maka perlu dilakukan analisis kekuatan mekanik dilakukan menggunakan *software* CATIA. Tahapan analisis meliputi; pembuatan model 3 dimensi *steam condensation tank* sesuai dengan desain yang sudah diperoleh, pemberian *restrain* pada model 3 dimensi, pemberian beban berupa tekanan dan temperatur, pengujian kekuatan mekanik sehingga akan diketahui tegangan mekanik dan *translational displacement* pada model 3 dimensi [8]. Dengan membandingkan besar tegangan mekanik yang terjadi pada model 3 dimensi *steam condensation tank* dengan *yield strength* material yang digunakan yaitu SS 304 maka dapat diketahui kekuatan mekaniknya [9]. Besar *translational displacement* yang terjadi diharapkan tidak terlalu besar sehingga tidak mengakibatkan perubahan bentuk pada *Steam Condensation Tank*.

FASILITAS PASCONEL

Diagram alir fasilitas uji PASCONEL seperti digambarkan pada Gambar 1. Aliran pada fasilitas uji simulasi *Passive Heat Pipe Stream Condensation System* (PaHPSCS)

dimulai dari *main steam generator* yang berfungsi membangkitkan uap air bertekanan 10 bar pada temperatur diatas 100 °C.



Gambar 1. Diagram alir fasilitas uji PASCONEL

Uap bertekanan tersebut mengalir menuju *test section* yang terdiri dari tabung pengumpul uap bertekanan dan *heat pipe*. Sehingga uap bertekanan tersebut akan didinginkan oleh *heat pipe* dan temperatur lingkungan. Karena adanya pendinginan tersebut maka uap air akan mengalami penurunan temperatur dan perubahan wujud menjadi air kembali serta dialirkan melalui tiga saluran yang berbeda. Saluran pertama untuk uap yang telah berubah menjadi air

karena didinginkan oleh temperatur lingkungan dan mengalami pengembunan pada dinding bagian dalam tabung pengumpul uap dialirkan ke *visual section 1* yang menggunakan material gelas pyrex. Uap yang telah berwujud menjadi air karena pendinginan oleh *heat pipe*, dialirkan ke *visual section 2* yang menggunakan material gelas pyrex juga. Sedangkan uap yang telah mengalami penurunan temperatur tetapi masih berwujud uap dialirkan ke *precooler*

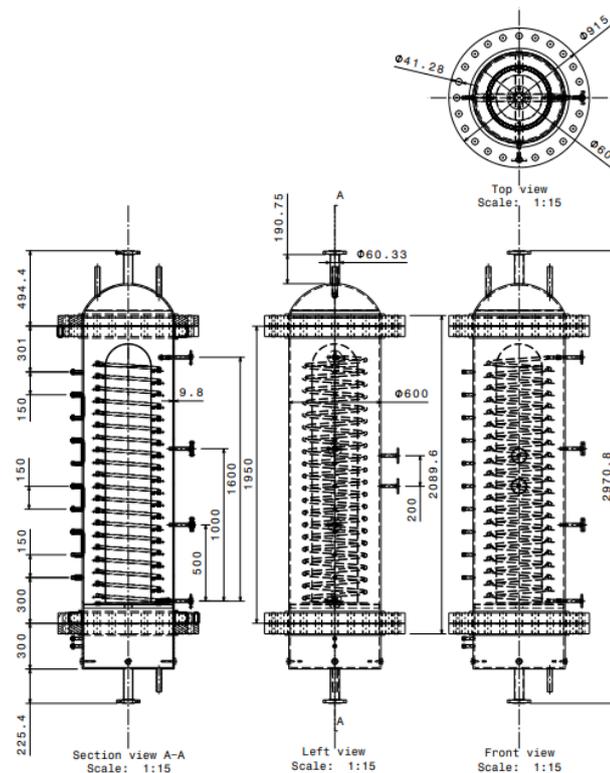
untuk selanjutnya didinginkan lagi sehingga berubah wujud menjadi air. Air dari *visual section 1*, *visual section 2* dan *precooler* dialirkan kembali menuju *main steam generator* untuk diubah menjadi uap bertekanan kembali. Pada *heat pipe* dilengkapi dengan *water jacket* pada bagian pendinginnya yang air pendinginnya disuplai oleh *cooling thermal bath* dan disirkulasikan menggunakan pompa. Pada *precooler* dilengkapi dengan *helical tube* yang berfungsi untuk mengkondensasi uap sisa dari tabung pengumpul uap. Pada *helical tube* air pendinginnya disuplai juga oleh *cooling thermal bath* dengan menggunakan pompa.

Aliran pada fasilitas uji simulasi *Passive Coil Steam Condensation System* (PaCSCS) dimulai juga dari *main steam generator* yang berfungsi membangkitkan uap air bertekanan 10 bar sampai dengan 20 bar pada temperatur diatas 100 °C. Uap bertekanan yang sudah terbentuk dialirkan ke *steam condensation tank*. Uap bertekanan akan didinginkan oleh air dari sistem sekunder yang dialirkan didalam *helical tube steam condensation tank*. Sistem sekunder ini terdiri dari *cooling thermal bath* yang

telah dilengkapi dengan *refrigerator* untuk menurunkan temperatur air. Air dingin dari *cooling thermal bath* dialirkan oleh pompa menuju ke *helical tube* pada *steam condensation tank* untuk mengubah uap bertekanan menjadi air. Air selanjutnya dialirkan ke *main steam generator* untuk diubah menjadi uap bertekanan kembali. Sirkulasi yang terjadi pada fasilitas uji PaCSCS adalah sirkulasi alamiah juga seperti yang terjadi pada fasilitas uji PaHPSCS.

Desain Steam condensor tank

Komponen *steam condensation tank* merupakan komponen inti dari fasilitas uji *Passive Coil Steam Condensation System* (PaCSCS). Komponen ini merupakan komponen terbesar pada *loop* PASCONEL dengan ketinggian total 2970,8 mm, diameter nominal 600 mm pada bagian *Shell* menggunakan material *stainless steel 304*. *Steam condensation tank* merupakan salah satu komponen pada fasilitas PASCONEL yang berfungsi untuk mengkondensasi uap bertekanan 10–20 bar sehingga berubah menjadi air. Bentuk dan dimensi *steam condensation tank* adalah seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

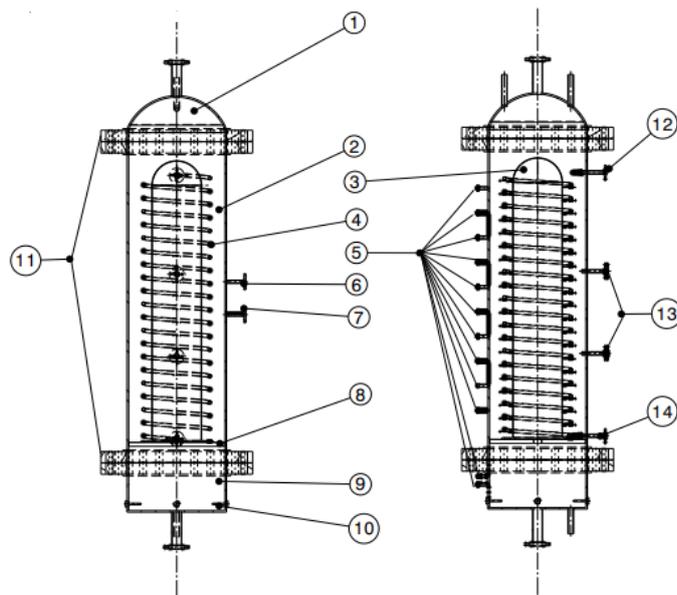
Gambar 2. Desain *Steam Condensation Tank*

Desain *Steam Condensation Tank* menggunakan material pipa *stainless steel* 304. Bagian *Shell* berdiameter 600 mm dengan ketebalan 9,8 mm, saluran input dan output menggunakan pipa *stainless steel* 304 Schedule 20 (sch. 20) berdiameter 50,8 mm. *Flange* menggunakan *flange* tipe *slip on* dengan spesifikasi *slip on 150 lb flange* 50,8 mm [8]. Penampung air kondensat dilengkapi juga dengan 4 buah pemanas listrik dengan daya masing-masing 5 kW. Sehingga daya total pemanas listrik mencapai 20 kW dan pengoperasian pemanas listrik dikontrol secara otomatis menggunakan pemrograman *LabView*. Pada bagian *helical tube* menggunakan *tube stainless steel* 304 sch. 20 berdiameter 12,7 mm. Panjang total *helical tube* 25 m dan berbentuk *helical* dengan diameter *center helical* 400 mm, tinggi *helical*

1600 mm, jarak antar *tube (pitch)* 80,2 mm dan jumlah lingkaran *helical* 20 buah. *Helical tube* ini dilengkapi dengan anulus yang sekaligus berfungsi sebagai *support helical*. Untuk menghubungkan bagian *Shell* dan bagian *helical* menggunakan *type joint Swagelok*. Penggunaan jenis ini dikarenakan sempitnya ruangan antara *shell* dan *helical tube* disamping itu *helical tube* didesain dapat dengan mudah untuk dibongkar pasang untuk diganti dengan ukuran yang bervariasi. *steam condensation tank* dilengkapi juga dengan *level meter* yang dioperasikan secara elektronik. Hal ini untuk sistem keamanan pengoperasian pemanas listrik karena jika tidak ada air dapat mengakibatkan pemanas listrik mengalami kerusakan jika tetap dioperasikan. *Steam condensation tank* dilengkapi dengan alat ukur temperatur

analog, alat ukur *pressure gauge*, *safety valve* dan *safety release valve*. Bagian dan

komponen detail *steam condensation tank* dapat dilihat pada Gambar 3



Keterangan :

1. Cap Coil Condensor
2. Body Coil Condensor
3. Anulus
4. Helical tube
5. Housing termokopel
6. Pressure gauge
7. Temperatur gauge
8. Support anulus
9. Penampung air kondensat
10. Pemanas listrik
11. Flanges
12. Output helical tube
13. Spare output helical tube
14. Input helical tube

Gambar 3. Bagian-bagian *Steam Condensation Tank*

METODOLOGI

Tahapan pengujian secara simulasi untuk menganalisis kekuatan mekanik adalah sebagai berikut ;

1. Pembuatan model 3-dimensi.

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan model 3-dimensi *steam condensation tank* dengan mengacu pada rancangan. Model tersebut dilengkapi dengan sifat-sifat material yang digunakan pada rancangan sebagai data masukan.

2. Pembebanan.

Pembebanan maksimal yang diberikan pada *steam condensation tank* adalah berupa tekanan dan temperatur. Pembebanan diberikan dengan tekanan sebesar 1,5 kali dari tekanan dan temperatur operasional yaitu sebesar 30 bar dan 319,5 °C (592,5 K).

3. Restrain.

Restrain mensimulasikan model 3-dimensi *steam condensation tank* pada kondisi *statis*. *Restrain* harus diberikan pada model agar simulasi dapat dilakukan.

4. Pengujian tegangan mekanik dan *traslational displacement*.

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 *steam condensation tank*. Sifat-sifat mekanik dari material stainless steel 304 ditunjukkan pada tabel 1.

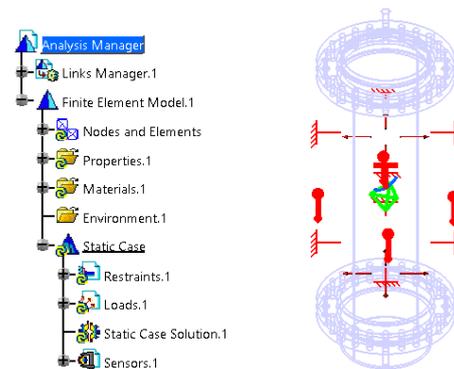
Tabel 1. Sifat mekanik bahan dan stainless steel 304 [9]

Parameter	Nilai
Young Modulus	$1,93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Poisson Ratio	0,29
Density	7800 kg/m^3
Thermal Expansion	$1,72 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
Yield Strength	$1,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

HASIL DAN PEMBAHASAN

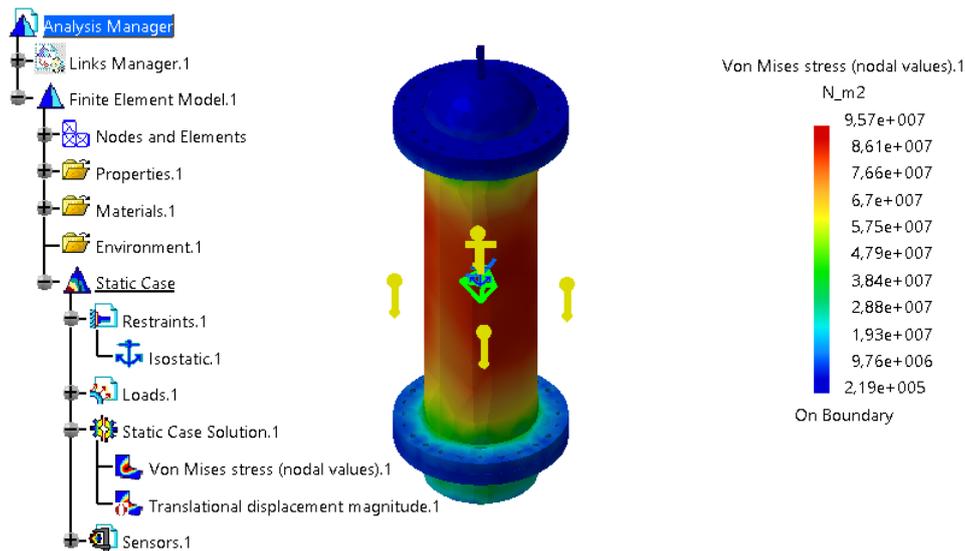
Mengacu pada ASME B31.3 diperoleh *shell steam condensation tank* menggunakan material *Welded pipe Stainless Steel 304* berdiameter 600 mm sch. 20. Pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan *software* CATIA yang dilakukan secara simulasi. Dalam pengujian secara simulasi untuk mengetahui kekuatan mekanik suatu rancangan diperlukan data masukan berupa sifat mekanik dari material yang digunakan. Pengujian secara simulasi dilakukan pada rancangan *steam condensor tank* mengikuti peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia dimana rancangan *steam condensor tank* termasuk dalam bejana tekan. Sehingga pengujian dilakukan mengikuti peraturan yaitu besar tekanan dan temperatur pengujian sebesar 1,5 kali dari tekanan dan temperatur operasional [10]. Pengujian secara simulasi dilakukan dengan

restrain dan pembebanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Restrain* dan pembebanan pada model 3 dimensi rancangan *steam condensor tank*

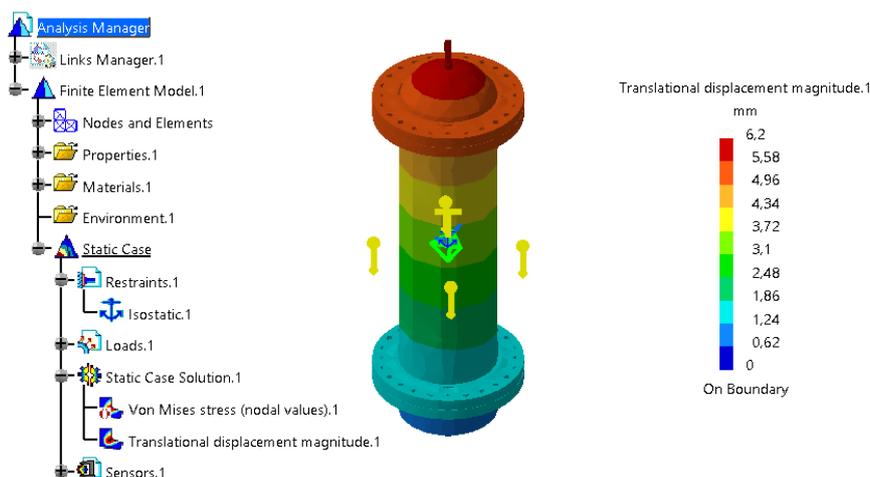
Pada pemodelan 3 dimensi menggunakan *restrain* bertipe *clamp* yang mensimulasikan bahwa rancangan *steam condensor tank* pada posisi disupport tetapi support tersebut masih memungkinkan adanya bergeseran kearah atas (Z+) dan kearah bawah (Z-). Pembebanan berupa tekanan sebesar 30 bar menekan merata pada bagian dinding dalam model. Temperatur sebesar $150 \text{ }^\circ\text{C}$ (423 K) mengenai dinding bagian dalam rancangan *steam condensor tank* dan adanya percepatan gravitasi sebesar 10 m/s^2 yang mengenai seluruh bagian model 3 dimensi. Hasil perhitungan secara simulasi yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tegangan mekanik yang terjadi pada rancangan *steam condensor tank*

Pengujian tegangan mekanik ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya *stress* akibat adanya beban berupa tekanan dan temperatur yang mengenai rancangan *steam condensor tank*. Hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui besar tegangan mekanik yang terjadi pada rancangan *steam condensor tank* ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan adanya tegangan mekanik terbesar sebesar $9,57 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ pada bagian tengah *shell* rancangan

steam condensor tank (berwarna merah). Tegangan mekanik tersebut tidak berdampak pada rancangan *steam condensor tank* yang bermaterial SS 304 karena besar tegangan mekanik yang terjadi lebih kecil daripada *yield strength* material SS 304 yaitu sebesar $1,73 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ [9] sehingga masih berada didaerah plastis dari material SS 304. Dimana apabila beban berupa tekanan dan temperatur dihilangkan maka *stress* akan hilang.



Gambar 6. *Translational displacement* yang terjadi pada rancangan *steam condensor tank*

Hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui besar *translational displacement* yang terjadi pada rancangan *steam condensor tank* ditunjukkan pada Gambar 6. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya perubahan bentuk pada rancangan *steam condensor tank* saat dikenai beban berupa tekanan dan temperatur. Hasil pengujian secara simulasi menunjukkan besar *translational displacement* maksimal yang terjadi pada rancangan *steam condensor tank* sebesar 6,2 mm. Jika dibandingkan dengan panjang total rancangan *steam condensor tank*, *translational displacement* yang terjadi hanya 1/500 dari ukuran total panjang rancangan *steam condensor tank*. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa *translational displacement* yang terjadi sangat kecil sehingga tidak merubah bentuk rancangan *steam condensor tank*. *Translational displacement* sebesar 6,2 mm kearah atas tersebut sangat mempengaruhi pemipaan pada bagian output rancangan *steam condensor tank* karena ada penambahan panjang totalnya. Untuk mengatasi hal itu pada pemipaan output *steam condensor tank* yang mendarat dilengkapi dengan *flexible hose* yang berfungsi untuk mereduksi *translational displacement* sebesar 6,2 mm.

KESIMPULAN

Untuk mengetahui keandalan dan keselamatan rancangan *steam condensor tank* dapat dilakukan pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA. Hasil analisis secara simulasi mendapatkan tegangan mekanik terbesar sebesar $9,57 \times 10^7$ N/m² pada bagian tengah *shell* rancangan *steam condensor tank*. Tegangan mekanik tersebut tidak berdampak pada rancangan *steam condensor tank* yang bermaterial SS 304 karena besar tegangan mekanik yang terjadi lebih kecil daripada *yield strength* material SS 304 yaitu sebesar $1,73 \times 10^8$ N/m². *Translational displacement* maksimal yang terjadi pada rancangan *steam condensor tank* sebesar 6,2 mm adalah sangat kecil dan 1/500 dari ukuran total panjang rancangan. *Translational displacement* sebesar 6,2 mm kearah atas tersebut sangat mempengaruhi pemipaan pada bagian output rancangan *steam condensor tank* karena ada penambahan panjang totalnya. Untuk mengatasi hal itu pada pemipaan output *steam condensor tank* yang mendarat dilengkapi dengan *flexible hose* yang berfungsi untuk mereduksi *translational displacement* sebesar 6,2 mm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh; DIPA PTKRN-BATAN yang telah membiayai penelitian, Kepala Pusat Teknologi dan

Keselamatan Reaktor Nuklir, Koordinator BPFKR selaku atasan langsung dan teman-teman Peneliti dan Pranata Nuklir di Subbidang Fasilitas Termohidrolika atas diskusi teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] HIDAYATULLAH, H., S. SUSYADI, and M.H. SUBKI, *Design and technology development for small modular reactors—Safety expectations, prospects and impediments of their deployment. Progress in Nuclear Energy*, 2015. 79: p. 127-135.
- [2] IAEA, *Advances in small modular reactor technology developments: A Supplement to:IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), 2018, International Atomic Energy Agency Vienna, Austria.*
- [3] D. C. SUN, Y. LI, Z. XI, Y. F. ZAN, P. Z. LI, and W. B. ZHUO, “*Experimental evaluation of safety performance of emergency passive residual heat removal system in HPR1000*”, *Nuclear Engineering and Design*, vol. 318, pp. 54-60, 2017/07/01/ 2017.
- [4] ANHAR R ANTARIKSAWAN, dkk, “*Preliminary investigation of natural circulation stability in FASSIP-01 experimental facility using RELAP5 code*”, *Jurnal AIP Conference Proceedings*, Jilid 2001, Terbitan 1, 16 Agustus, (2018)070003.
- [5] ANHAR R ANTARIKSAWAN, dkk, “*Simulation of operational conditions of FASSI-02 natural circulation cooling system experimental loop*”, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, Vol 19, No 1, (2018).
- [6] MULYA JUARSA, dkk, “*Preliminary Investigation on Natural Circulation Flow using CFD and Calculation Base on Experimental Data Pre-FASSIP-02*”, *Jurnal IOP Conference Series: Journal of Physics*, Jilid 1198, Terbitan 2, April, (2019)022073.
- [7] DEDY HARYANTO, GIARNO, G. BAMBANG HERU K, MULYA JUARSA, “*Analisis Kekuatan Mekanik Main Steam Generator pada Fasilitas PASCONEL*”, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2020 (ISSN:2355-7524)*, 18 November 2020.
- [8] Mhd. DAUD PINEM, S.T., CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi, Kawah Media, Jl. H. Montong No. 57, Ciganjur-Jagakarsa, Jakarta Selatan 12630, 2009.
- [9] SAINI, M., et al., *Mechanical Properties of Bimetallic Weld Joint between SA 516 Grade 65 Carbon Steel and SS 304 L For Steam Generator Application. life*, 2014. 4: p.
- [10] MENTERI KETENAGAKERJAAN REPUBLIK INDONESIA, *Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bejana Tekan dan Tangki Timbun, Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2016.*