

Pengaruh Jenis *Restraint* pada Kekuatan Mekanik *Support* Untai FASSIP 03 NT

DEDY HARYANTO, GIARNO, GREGORIUS BAMBANG HERU KUSNUGROHO,
AINUR ROSIDI, ADHIKA ENGGAR PAMUNGKAS, MULYA JUARSA

Pusat Reaktor dan Teknologi Keselamatan Nuklir (PRTKRN), Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia
Email: dedy.haryanto@batan.go.id

Received 22 Desember 2021 | *Revised* 21 Januari 2022 | *Accepted* 28 Januari 2022

ABSTRAK

Kegiatan penelitian yang dilakukan dilatarbelakangi oleh kejadian kecelakaan pada PLTN Fukushima Dai-Ichi Jepang. Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif-03 Nanobubbles Transparent (FASSIP 03 NT) menggunakan fluida Nanobubbles sebagai fluida kerja. Support untai FASSIP 03 NT merupakan salah satu komponen di untai FASSIP-03 NT, berfungsi sebagai penopang seluruh komponen untai FASSIP 03 NT sehingga perlu diketahui kekuatan mekaniknya meliputi tegangan mekanik dan translational displacementnya. Metode pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan software CATIA yang merekomendasikan penggunaan restraint jenis slider pada keempat kaki support untai FASSIP 03 NT. Dengan adanya penelitian sistem pasif ini maka kondisi ketiadaan catu daya listrik bagi pompa pendingin teras reaktor PLTN tidak berakibat fatal, karena sistem pendingin pasif dapat mengambil alih fungsi pendinginan pada teras reaktor.

Kata kunci: *FASSIP 03 NT, tegangan mekanik, translational displacement, restraint, clamp, slider*

ABSTRACT

The research activity was carried out against the background of an accident at the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant in Japan. Passive System Simulation Facility Strand-03 Nanobubbles Transparent (FASSIP 03 NT) uses Nanobubbles fluid as the working fluid. The FASSIP 03 NT strand support is one of the components in the FASSIP-03 NT strand, it functions as a support for all FASSIP 03 NT strand components so it is necessary to know its mechanical strength including mechanical stress and translational displacement. Methodology has been done through simulation testing using CATIA software, it is recommended to use a slider type restraint on the four legs of the FASSIP 03 NT strand support. With this passive system research, the condition of the absence of an electric power supply for the nuclear power plant reactor core cooling pump is not fatal, because the passive cooling system can take over the cooling function in the reactor core.

Keywords: *FASSIP 03 NT, mechanical stress, translational displacement, restraint, clamp, slider*

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan kecelakaan reaktor nuklir PLTN di Fukushima Dai-Ichi Jepang, sistem pendinginan pasif pada instalasi nuklir harus dapat digunakan untuk membantu melakukan proses pembuangan panas sisa hasil peluruhan yang terjadi secara terus menerus pada saat sistem pendinginan aktif tidak berfungsi akibat terjadinya *station blackout* berkepanjangan maupun pada kondisi operasi normal. Penggunaan sistem pendingin pasif diharapkan dapat meningkatkan pengoperasian instalasi nuklir sehingga menjadi lebih terjamin keamanannya **(Juarsa, dkk, 2018) (Sun, dkk, 2017) (Antariksawan, dkk, 2018)**. Pada reaktor nuklir generasi baru, konsep pendinginan pasif sudah mulai digunakan pada reaktor generasi III+ dan desain reaktor generasi IV **(Wang, 2013) (Tjahjono, 2017)**.

Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP) merupakan fasilitas uji eksperimen sistem pendingin pasif untuk pengambilan panas sisa hasil peluruhan yang dihasilkan oleh teras reaktor selama kondisi kecelakaan **(Sun, dkk, 2017) (Juarsa, dkk, 2011) (Antariksawan, 2000) (Kusuma, dkk, 2017) (Wang, dkk, 2013)**. Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif 03 *Nanobubbles Transparent* (FASSIP 03 NT) menggunakan fluida *Nanobubbles* sebagai fluida kerja. Fluida *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 μm dan lebih besar. Gelembung ini dengan cepat naik ke permukaan air dan runtuh. *Nanobubbles* adalah gelembung udara berdiameter < 700 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, 2021) (Moleaer, 2021)**. Penggunaan *Nanobubbles* sebagai fluida kerja pada unta FASSIP 03 NT bertujuan untuk memperbesar kemampuan perpindahan panas pada fluida kerja tersebut sehingga sirkulasi alamiah dapat dengan mudah terjadi. Beberapa kajian, analisis serta perhitungan berdasarkan eksperimen menggunakan unta uji yang telah dibuat sebelumnya **(Antariksawan, dkk, 2018) (Juarsa, dkk, 2019)**.

Dalam penelitian yang didanai Lembaga Pengelola Dana Pendidikan, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional sebagai penerima dana membuat unta FASSIP 03 NT. Adanya FASSIP 03 NT untuk mengetahui gambaran awal karakteristik dan fenomena perpindahan kalor yang terjadi sebagai sistem pendingin pasif. *Support* unta FASSIP 03 NT merupakan salah satu komponen di unta FASSIP 03 NT, berfungsi sebagai penopang seluruh komponen unta FASSIP 03 NT untuk menyimulasikan penukar kalor. Dengan demikian seluruh komponen FASSIP 03 NT menjadi beban bagi *support*, terutama berat *Cooling Tank Section* (CTS) dan *Nanobubbles Generator Tank* beserta fluida di dalamnya. Sehingga untuk mengetahui keamanan dan keselamatannya, diperlukan analisis kekuatan mekaniknya pada desain *support* unta FASSIP 03 NT sebelum dilakukan pabrikan dan selanjutnya digunakan sebagai penopang unta FASSIP 03 NT.

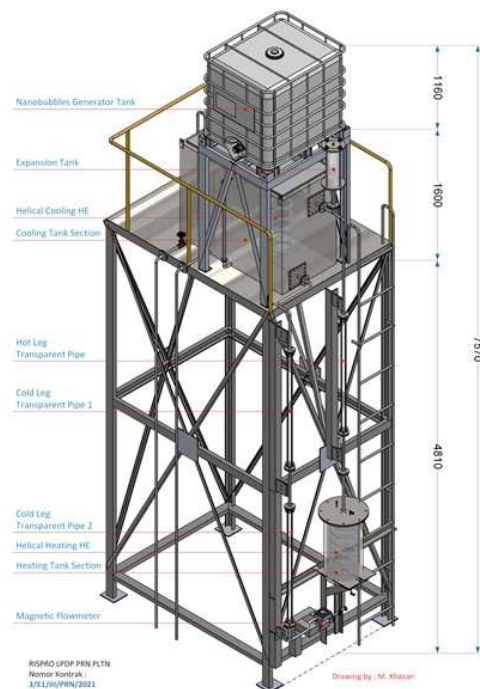
Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui kekuatan mekanik *support* unta FASSIP 03 NT pada saat di-*restraint* menggunakan jenis *clamp* dan *slider*. Kekuatan mekanik meliputi tegangan mekanik dan *translational displacement* yang berhubungan dengan tingkat keamanan dan keselamatan desainnya. Analisis kekuatan mekanik *support* dilakukan dengan menggunakan *software Computer Aided Three-dimensional Interactive Application* (CATIA) **(Pinem, 2009)**. Dalam CATIA, dibuat model tiga dimensi sesuai dengan desain *support* yang akan dibuat, pemberian *restrain* pada model tiga dimensi, pemberian beban berupa berat total CTS dan *Nanobubbles* generator beserta fluidanya, dan pengujian kekuatan mekanik. Dengan membandingkan besar tegangan mekanik yang terjadi pada model tiga dimensi *support* pada masing-masing jenis *restraint* dengan *yield strength* material Carbon Steel AISI 1040 maka

dapat diketahui kekuatan mekaniknya (**Anonim, 2011**). Sedangkan besar *translation displacement* yang terjadi diharap tidak terlalu besar sehingga tidak mengakibatkan perubahan bentuk pada *support* ketika dilakukan eksperimen.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain *Support* Untai FASSIP 03 NT *Layout*

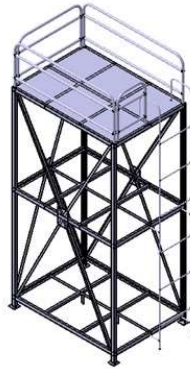
FASSIP 03 NT terdiri dari komponen *Nanobubbles Generator Tank*, *Expation Tank*, *Cooling Tank Section* (CTS) yang dilengkapi dengan *helical cooling HE*, *Hotleg transparent pipe*, *Coldleg transparent pipe 1 dan 2*, *Heating Tank Section* (HTS) yang dilengkapi dengan *helical heating HE* di mana seluruh komponen tersebut dihubungkan menggunakan pipa 1 inci sch. 40 sehingga menjadi suatu untai/*loop*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Untai FASSIP 03 NT

Tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian menggunakan untai FASSIP 03 NT ini secara umum adalah pembuatan desain fasilitas meliputi desain mekanik, desain instrumentasi dan desain kelistrikan. Pada bagian desain mekanik meliputi melakukan perhitungan baik perhitungan secara konvensional maupun perhitungan secara *code* sehingga didapat data untuk mendukung pembuatan gambar desain. Setelah gambar desain diperoleh dapat dilakukan analisis kekuatan mekanik dari masing-masing komponen pada fasilitas tersebut yang telah dilengkapi dengan jenis material yang digunakan. Analisis kekuatan mekanik perlu dilakukan sebelum tahapan pabrikan dan pengoperasian. Analisis kekuatan mekanik dapat dilakukan secara simulasi berbasis pada *software* CATIA. Analisis secara simulasi ini telah dilakukan pada komponen-komponen fasilitas penelitian lainnya yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan mekanik dari desain komponen-komponen fasilitas penelitian tersebut (**Haryanto, dkk, 2018**) (**Haryanto, dkk, 2020**) (**Haryanto, dkk, 2020**).

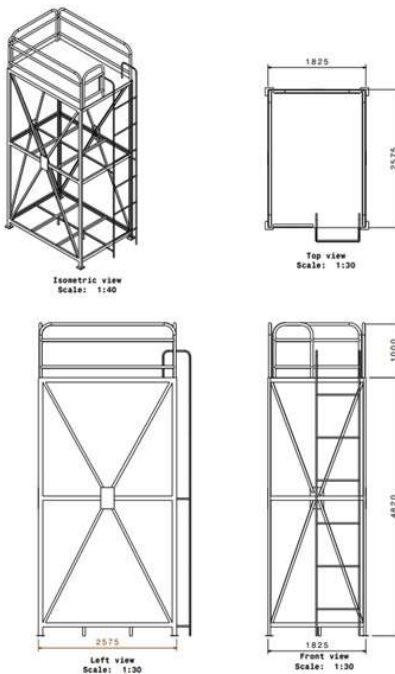
Support dilengkapi dengan pagar pengaman dan tangga, pada bagian yang menopang CTS dan *Nanobubbles generator tank* dilengkapi dengan pelat besi dengan ketebalan 5 mm, model tiga dimensi *support* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model 3-Dimensi *Support* Untai FASSIP 03 NT

Desain *support* untai FASSIP 03 NT seperti diperlihatkan pada Gambar 3 menggunakan material besi UNP 50, besi Siku 40 dan pelat 5 mm bermaterial *Carbon steel* AISI 1040. Tinggi *support* 4810 mm dilengkapi dengan pagar setinggi 1000 mm, beban utama *support* adalah berat CTS dan *Nanobubbles Generator Tank* beserta fluida di dalamnya dengan berat total 16600 N.

Berdasarkan paparan di atas dapat diketahui bahwa *support* untai FASSIP 03 NT merupakan salah satu komponen yang beresiko pada fasilitas penelitian pendinginan pasif untai FASSIP 03 NT. Sehingga pengujian secara simulasi untuk mengetahui kekuatan mekanik sangat diperlukan.



Gambar 3. Desain *Support* Untai FASSIP 03 NT

Dalam pengujian secara simulasi untuk mengetahui kekuatan mekanik suatu desain diperlukan data masukan berupa sifat mekanik dari material yang digunakan. *Support* untai FASSIP 03 NT menggunakan material *Carbon Steel* AISI 1040, sifat-sifat mekaniknya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Mekanik Bahan dan *Carbon Steel* AISI 1040 (Anonim, 2011)

Parameter	Nilai
<i>Young Modulus</i>	$2,10 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
<i>Poisson Ratio</i>	0,3
<i>Density</i>	7845 kg/m^3
<i>Thermal Expantion</i>	$1,36 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
<i>Yield Strength</i>	$3,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Dengan menggunakan pemodelan 3-dimensi desain *support* untai FASSIP 03 NT serta sifat-sifat mekanik *Carbon steel* AISI 1040 sebagai data masukkan pada *software* CATIA. Maka dengan pengujian secara simulasi dapat diketahui kekuatan mekanik meliputi tegangan mekanik dan *translational displacement* pada desain *support*.

2.2 Tahapan Simulasi

Tahapan pengujian secara simulasi yang dilakukan dalam menganalisis kekuatan mekanik adalah sebagai berikut :

2.2.1 Pembuatan Model 3-Dimensi

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

2.2.2 Pembebanan

Pembebanan maksimal yang diberikan pada *support* berupa beban akibat berat CTS dan *Nanobubbles Generator Tank* beserta fluida di dalamnya dengan berat total 16600 N, percepatan gravitasi dan temperatur kamar. Sehingga beban pengujian yang diberikan sebesar 1,5 kali dari beban total yaitu 24900 N (**Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia, 2016**).

2.2.3 Restraint

Restraint menyimulasikan model 3-dimensi *support* dikekang pada bagian keempat kakinya sehingga *support* pada kondisi statis. *Restraint* yang digunakan pada analisis ini adalah jenis *restraint clamp* dan *restraint slider*.

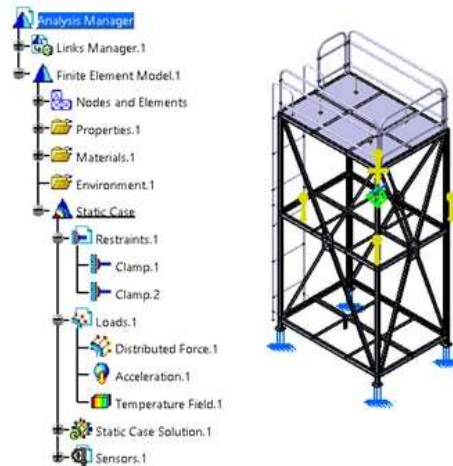
2.2.4 Pengujian Tegangan Mekanik dan *Translational Displacement*

Model 3-dimensi yang telah diberikan input berupa sifat-sifat material, beban dan *restraint*. Selanjutnya dilakukan pengujian secara 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 *support* untai FASSIP 03 NT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

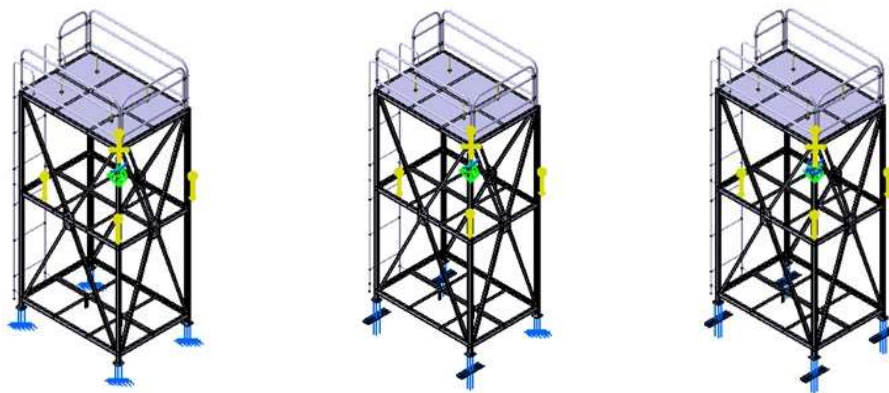
Untuk mengetahui kekuatan mekanik desain *support* untai FASSIP 03 NT pengujian secara simulasi dilakukan pada beban 24900 N kearah Z- (vertikal ke bawah), percepatan gravitasi

10 m/s² dan temperatur kamar 27°C (300 K) dengan *restraint* dan pembebanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Restraint* dan Pembebanan pada Model 3-Dimensi *Support* Untai FASSIP 03 NT

Restraint jenis *clamp* menyimulasikan *support* dikekang sehingga tidak dapat bergerak sama sekali, sedangkan *restraint slider* pengekangan pada *support* masih memungkinkan adanya sedikit pergerakan. Pada analisis kekuatan mekanik yang dilakukan memvariasikan penggunaan dua jenis *restraint* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu seluruh kaki *support* di-*restraint* dengan jenis *clamp*, satu kaki di-*restraint* dengan jenis *clamp* dan tiga lainnya dengan jenis *slider*, serta seluruh kaki di-*restraint* dengan jenis *slider*. Dengan memperbandingkan tegangan mekanik yang terjadi akibat pemakaian jenis *restraint* yang berlainan bertujuan untuk menemukan jenis penggunaan *restraint* yang dapat memperkecil tegangan mekanik dan *translational displacement* yang terjadi.



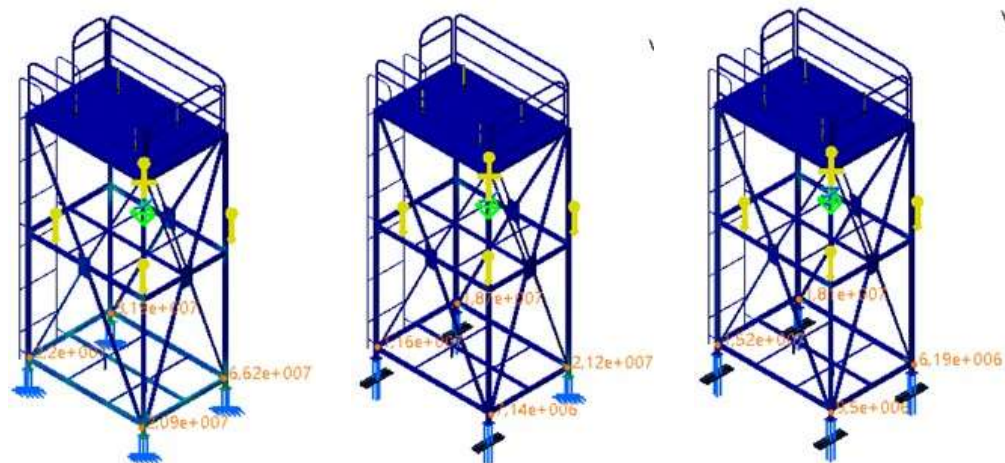
Penggunaan 4 buah *clamp*

Penggunaan 1 buah *clamp* dan 3 *slider*

Penggunaan 4 buah *slider*

Gambar 5. Penggunaan dengan Variasi Jenis *Restraint*

Pembebanan berupa 1,5 kali berat total CTS dan *Nanobubbles* generator beserta fluidanya sebesar 24900 N menekan merata pada bagian lantai *support* yang dilapisi dengan pelat setebal 5 mm. Hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui besar tegangan mekanik yang terjadi pada desain *support* dengan tiga buah variasi penggunaan *restraint* ditunjukkan pada Gambar 6.



Penggunaan 4 buah *clamp* Penggunaan 1 buah *clamp* dan 3 *slider* Penggunaan 4 buah *slider*

Gambar 6. Tegangan Mekanik pada Desain *Support* Untai FASSIP 03 NT.

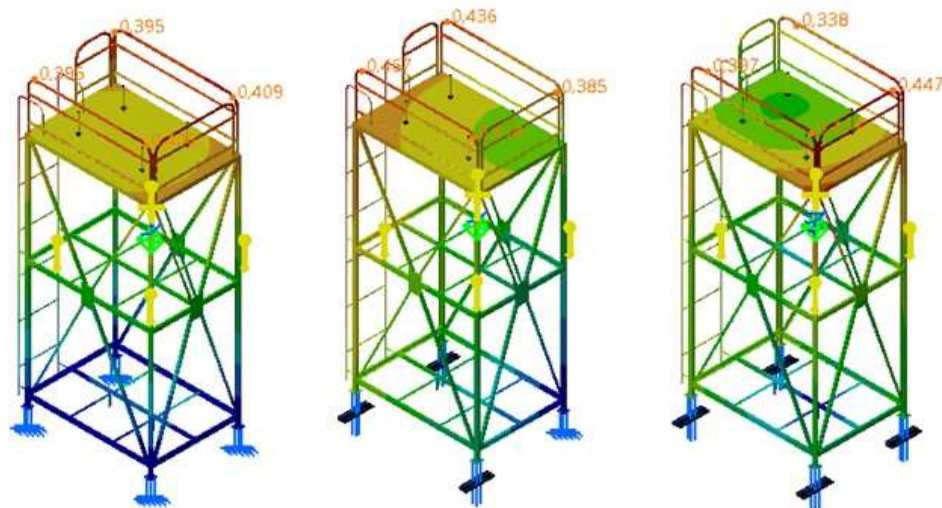
Pengujian tegangan mekanik ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya *stress* akibat adanya beban berupa berat total CTS dan *Nanobubbles* generator beserta fluidanya. Hasil pengujian tersebut menunjukkan adanya tegangan mekanik terbesar pada keempat kaki *support* FASSIP 03 NT. Besar tegangan mekanik pada keempat kaki ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Tegangan Mekanik pada Keempat Kaki *Support*

No.	Tegangan Mekanik Pada <i>restraint</i> 4 buah <i>clamp</i> (N/m ²)	Tegangan Mekanik Pada <i>restraint</i> 1 buah <i>clamp</i> dan 3 buah <i>slider</i> (N/m ²)	Tegangan Mekanik Pada <i>restraint</i> 4 buah <i>slider</i> (N/m ²)	Yield Strength Carbon steel AISI 1040 (N/m ²)	Keterangan
1	2,20 x 10 ⁷	1,16 x 10 ⁷	1,52 x 10 ⁷	3,5 x 10 ⁸	Posisi kaki 1
2	3,19 x 10 ⁷	1,87 x 10 ⁷	1,81 x 10 ⁷	3,5 x 10 ⁸	Posisi kaki 2
3	6,62 x 10 ⁷	2,12 x 10 ⁷	6,19 x 10 ⁶	3,5 x 10 ⁸	Posisi kaki 3
4	2,09 x 10 ⁷	7,14 x 10 ⁶	9,50 x 10 ⁶	3,5 x 10 ⁸	Posisi kaki 4

Tegangan mekanik yang terjadi tidak berdampak pada desain *support* FASSIP 03 NT yang bermaterial Carbon Steel AISI 1040 karena besar tegangan mekanik terbesar pada keempat kaki *support* lebih kecil daripada *yield strength* material Carbon Steel AISI 1040 yaitu sebesar 3,5 x 10⁸ N/m² dan masih berada di daerah elastis dari material Carbon Steel AISI 1040. Apabila beban berupa berat total CTS dan *Nanobubbles* generator beserta fluidanya dihilangkan maka *stress* akan hilang. Penggunaan jenis *restraint slider* pada keempat kaki *support* menghasilkan penurunan tegangan mekanik secara rata-rata. Sehingga penggunaan *restraint* jenis *slider* dapat direkomendasikan digunakan untuk mengekang keempat kaki *support*.

Hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui besar maksimal *translational displacement* yang terjadi pada desain *support* FASSIP 03 NT dengan tiga variasi penggunaan *restraint* ditunjukkan pada Gambar 7.



Penggunaan 4 buah *clamp*

Penggunaan 1 buah *clamp* dan 3 *slider*

Penggunaan 4 buah *slider*

Gambar 7. *Translational Displacement* pada Desain *Support* Untai FASSIP 03 NT

Pengujian *translational displacement* ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya perubahan bentuk pada *support* akibat adanya beban berupa berat total CTS dan *Nanobubbles* generator beserta fluidanya. Besar *translational displacement* pada *support* ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. *Translational Displacement* pada *Support* Untai FASSIP 03 NT

No.	<i>Translational displacement</i> Pada <i>restraint</i> 4 buah <i>clamp</i> (mm)	<i>Translational displacement</i> Pada <i>restraint</i> 1 buah <i>clamp</i> dan 3 buah <i>slider</i> (mm)	<i>Translational displacement</i> Pada <i>restraint</i> 4 buah <i>slider</i> (mm)	Keterangan
1	0,395	0,467	0,397	Posisi 1
2	0,395	0,436	0,338	Posisi 2
3	0,409	0,385	0,447	Posisi 3
4	0,406	0,414	0,477	Posisi 4

Tabel 3 menunjukkan besar *translational displacement* maksimal yang terjadi pada desain *support* adalah sebesar 0,477 mm pada penggunaan *restraint* empat buah *slider*. Hasil pengujian *translational displacement* terbesar sebesar 0,477 mm jika dibandingkan dengan ukuran desain *support* ternyata hanya 0,00008 (1/12500) dari ukuran total tinggi *support* FASSIP 03 NT. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa *translational displacement* yang terjadi sangat kecil dan tidak mempengaruhi bentuk *support*. Jika membandingkan hasil pengujian *translational displacement* dari penggunaan tiga variasi *restraint*, tidak ada perbedaan yang besar dimana rentang *translational displacement* pada keempat posisi antara 0,385 mm sampai dengan 0,477 mm. Sehingga penggunaan *restraint* jenis *slider* dapat direkomendasikan digunakan untuk mengekang keempat kaki *support*, sesuai dengan hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui tegangan mekanik. Penelitian tentang kekuatan mekanik pada *support* untai FASSIP 03 NT sangat mendukung penelitian pendingin dengan sistem pasif. Di mana penelitian sistem pasif bertujuan untuk mencegah terjadinya kecelakaan nuklir akibat tidak adanya catu daya listrik untuk pompa pendingin sistem aktif, sehingga kecelakaan pada PLTN di Fukushima Dai-Ichi Jepang tidak terulang kembali.

4. KESIMPULAN

Melalui pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA diperoleh rekomendasi penggunaan *restraint* jenis *slider* pada keempat kaki *support* untai FASSIP 03 NT, sehingga keempat kaki *support* dapat sedikit bergerak. Tegangan mekanik terbesar yang terjadi pada keempat kaki pada rentang $6,19 \times 10^6$ N/mm² sampai dengan $1,81 \times 10^7$ N/mm². Tegangan mekanik yang terjadi tidak berdampak pada desain *support* FASSIP 03 NT yang bermaterial Carbon Steel AISI 1040, karena lebih kecil daripada *yield strength* material Carbon Steel AISI 1040 yaitu sebesar $3,5 \times 10^8$ N/m². Hasil pengujian *translational displacement* terbesar sebesar 0,477 mm atau 1/12500 dari ukuran total tinggi *support* FASSIP 03 NT. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa *translational displacement* yang terjadi sangat kecil dan tidak mempengaruhi bentuk *support*. Penelitian ini mendukung penelitian pendingin dengan sistem pasif, sehingga kecelakaan pada PLTN di Fukushima Dai-Ichi Jepang akibat tidak adanya catu daya listrik untuk pompa pendingin sistem aktif tidak terulang lagi.

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" dengan nomor kontrak 3/E1/III/PRN/2021 yang telah mendanai penelitian. Kepala Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Kepala BPFKR selaku atasan langsung dan teman-teman Peneliti dan Pranata Nuklir di Subbidang Fasilitas Termohidrolika atas diskusi teknis.

DAFTAR RUJUKAN

- Anonim. 2011. *Yield Strength-Strenth (Mecahnics) of material Strength*. Desember 01. <http://www.engineersedge>.
- Antariksawan, A. R. (2000). Accident Analysis of PWR Station Blackout with Pump Seal Leak Using Melcor 1.8. 4. *Proceeding Semonar on Technology and Safety of Nuclear Power Plant and Nuclear Facilities*.
- Antariksawan, A. R., dkk. (2018). Simulation of Operational Conditions of FASSIP-02 Natural Circulation Cooling System Experimental Loop. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* 19 (1).
- 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).
- Design, Bauer Energy. (2021). <http://www.nanobubbles.com>.
- Haryanto, D., Giarno, Kusnugroho, G. B. H., Juarsa, M.,. (2020). Analisis Kekuatan Mekanik Main Steam generator pada Fasilitas PASCONEL. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2020*.

- Haryanto, D., Giarno, 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 FASSIP-02 Menggunakan CATIA. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin POROS*.
- Haryanto, D., Rosidi, A., Kusnugroho, G. B. H., Juarsa, M. (2020). Analisis Kekuatan Mekanik Desain Bejana Molecular Sieve. *Majalah Ilmiah Sigma Epsilon*, Mei.
- Juarsa, M., Antariksawan, A. R., Kusuma, M. H., Haryanto, D., and Putra, N. (2018). Estimation of Natural Circulation Flow Based on Temperature in The FASSIP-02 Large-Scale Test Loop Facility. *in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1).
- 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. *Earth and Environmental Science*.
- Juarsa, M., dkk. (2019). Preliminary Investigation on Natural Circulation Flow using CFD and Calculation Base on Experimental Data Pre-FASSIP-02. *Jurnal IOP Conference Series: Journal of Physics*.
- Juarsa, M., dkk. (2011). 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*, 22-30.
- Kusuma, M. H., Putra, N., Ismarwanti, S., and 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, 836-842.
- Menteri Ketenagakerjaan, Republik Indonesia. (2016). *Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bejana Tekan dan Tangki Timbun*. Peraturan Meteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2016.
- Moleaer™. (2021). <http://www.molear.com/nanobubbles>.
- Pinem, M. D., S.T. (2009). *CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi*. Jakarta Selatan 12630: Kawah Media, Jl. H. Montong .
- Sun, D. C., Li, Y., Xi, Z., Zan, Y. F., Li, P. Z., Zhou, W. B.,. (2017). Experimental Evaluation of Safety Performance of Emergency Passive Residual Heat Removal System in HPR1000. *Nuclear Engineering Design*, 54-60.
- Tjahjono, H. (2017). Comprehensive Prediction of Thermosyphon Characteristics in Reactor Passive Cooling System Simulation Loop FASSIP-01. *Atom Indonesia*, 157-166.

- Wang, M., Tian, W., Qiu, S., Su, G., and Zhang, W. (2013). An Evaluation of Designed Passive Core Makeup Tank (CMT) for China Pressurized Reactor (CPR1000). *Annals of Nuclear Energy*, 81-86.
- Wang, Y. (2013). Preliminary Study for the Passive Containment Cooling System Analysis of the Advanced PWR. *Energy Procedia*, 240–247.