

## ANALISIS KEKUATAN MEKANIK UNTUK FASILITAS FASE-PRHRS MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANALISIS STRUKTUR

**Dedy Haryanto, Mulya Juarsa, Almira Citra Amelia,  
Dinan Andiwijakusuma**

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**ANALISIS KEKUATAN MEKANIK UNTUK FASILITAS FASE-PRHRS MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANALISIS STRUKTUR.** *Station Black Out (SBO)* di Fukushima Daiichi Jepang terjadi karena tidak adanya catu daya listrik bagi sistem aktif untuk mendinginkan teras reaktor, sehingga panas peluruhan di teras reaktor tidak dapat dibuang ke sistem pengambilan sisa panas dan kelingungan. Untuk itu diperlukan sistem keselamatan pasif untuk membuang sisa panas hasil peluruhan yang dihasilkan ketika SBO terjadi atau sebab-sebab lain yang mengakibatkan sistem aktif tidak berfungsi. FASE-PRHRS (Fasilitas Eksperimen-*Passive Residual Heat Removal System*) merupakan suatu fasilitas eksperimen keselamatan sistem pasif yang direncanakan akan dibuat dengan skala tinggi 1/1 dan ditujukan untuk penelitian pengambilan panas sisa pada teras reaktor dan beroperasi secara alamiah tanpa membutuhkan catu daya listrik. Fasilitas tersebut menggunakan struktur Untai Uji Termohidrolika Reaktor (UUTR) sebagai penopang komponen-komponennya sehingga struktur mengalami penambahan beban selain beban dari komponen-komponen UUTR. Untuk mengetahui keamanan penggunaan struktur UUTR sebagai penopang maka dilakukan pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur. Hasil pengujian mendapatkan tegangan mekanik terbesar yang terjadi yaitu  $4,41 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ , sedangkan *translation displacement* terbesar yaitu 0,1150 mm. Tegangan mekanik yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan dengan *yield strength material* dari *Carbon Steel ASTM A36* dan masih dalam daerah elastis material. Sedangkan *translation displacement* yang terjadi sangat kecil sehingga tidak mengakibatkan perubahan bentuk pada struktur UUTR. Dengan demikian struktur UUTR dalam kondisi aman dengan adanya pembebanan berupa komponen UUTR dan FASE-PRHRS.

**Kata kunci:** struktur UUTR, FASE-PRHRS, tegangan mekanik, *translation displacement*

### ABSTRACT

**ANALYSIS ON MECHANICAL STRENGTH FOR FASE-PRHRS FACILITY USING SOFTWARE OF STRUCTURE ANALYSIS.** *Station Black Out (SBO)* in Japan's Fukushima Daiichi occurred due to unavailability of electrical power supply for the active system to cool the reactor core, so that the core decay heat can not be discharged into the residual heat removal system and to the environment. Therefore passive safety systems are required to remove excess decay heat generated when the SBO occurs or other causes leading to the failure of active systems. FASE-PRHRS (Experiment Facility-*Passive Residual Heat Removal System*) is an experimental facility simulating passive safety system planned to be made with scale height of 1/1 and have purpose for research on core residual heat removal operating naturally without electrical power supply. The facility will use the structure of the Installation Test Thermal Hydraulic Reactor (ITTR) as the supporter of its components, so that the structure has the load addition other than the load from ITTR components. To examine the safety margin of the ITTR structure as a support, a simulation using software of structure analysis is conducted. The calculation results show that the biggest mechanical stress is  $4.41 \times 10^6 \text{ N / m}^2$ , while the biggest translational displacement is 0.1150 mm. The mechanical stress that occurs is still smaller than the yield strength of ASTM A36 Carbon Steel material and still in the area of material elastic. The calculated translational displacement is very small to cause a change in the ITTR structure. Therefore the structure of ITTR is safe to support both the ITTR and PHASE-PRHRS components.

**Keywords:** ITTR structure, FASE-PRHRS, mechanical stress, translational displacement

## PENDAHULUAN

FASE-PRHRS (Fasilitas Eksperimen-*Passive Residual Heat Removal System*) merupakan suatu fasilitas eksperimen keselamatan sistem pasif yang direncanakan akan dibuat dengan skala tinggi 1:1. Digunakan untuk penelitian keselamatan reaktor nuklir dengan pengambilan panas sisa pada teras reaktor dan beroperasi secara alamiah tanpa membutuhkan catu daya listrik. FASE-PRHRS menggunakan struktur Untai Uji Termohidrolika Reaktor (UUTR) sebagai penopang komponen-komponen FASE-PRHRS. Sehingga struktur tersebut mengalami penambahan beban oleh komponen-komponen FASE-PRHRS selain beban yang sudah ada yaitu komponen-komponen UUTR. Untuk mengetahui kekuatan struktur dalam menopang beban maka perlu dilakukan analisis kekuatan mekanik terhadap struktur tersebut. Analisis dilakukan melalui pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur sehingga dapat diketahui besar tegangan mekanik dan *translation displacement* yang terjadi pada struktur <sup>[1]</sup>. Analisis telah dilakukan secara bertahap, yaitu pada tahun 2015 dilakukan analisis kekuatan mekanik pada struktur Untai Uji Termohidrolika Reaktor (UUTR) untuk mengetahui kekuatan mekanik struktur tanpa beban dan dengan beban komponen UUTR. Sehingga pada tahun 2015 telah diperoleh data hasil analisis kekuatan mekanik struktur UUTR tanpa beban dan dengan beban komponen UUTR <sup>[1]</sup>. Sedangkan pada tahun 2016 analisis kekuatan mekanik struktur dilakukan lagi karena adanya penam-

bahan beban berupa komponen FASE-PRHRS. Tahapan yang dilakukan dalam menganalisis kekuatan mekanik struktur UUTR meliputi : pengambilan data ukuran dan material struktur UUTR, pembuatan model 3-dimensi struktur UUTR, mengumpulkan data tentang berat komponen-komponen UUTR dan FASE-PRHRS, menentukan titik berat komponen sebagai beban pada struktur, meletakkan restrain pada kaki-kaki struktur, serta melakukan pengujian kekuatan mekanik secara simulasi pada struktur pada kondisi berbeban dengan beban komponen UUTR dan komponen FASE-PRHRS <sup>[2]</sup>. Dengan membandingkan besar tegangan mekanik yang terjadi pada struktur dengan *yield strength* material yang digunakan struktur maka dapat diketahui keamanan struktur <sup>[3]</sup>. Sedangkan besar *translation displacement* yang terjadi diharapkan tidak terlalu besar sehingga tidak mengakibatkan perubahan bentuk pada struktur.

## DISKRIPSI STRUKTUR UNTAI UJI TERMOHIDROLIKA REAKTOR

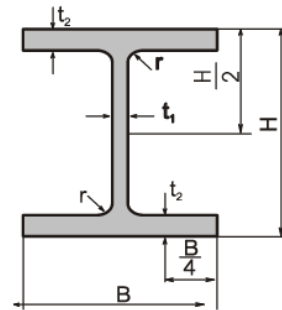
Untai Uji Termohidrolika Reaktor (UUTR) merupakan suatu instalasi termohidrolika yang terinstal didalam ruangan (indoor) dan merupakan suatu perangkat untuk penelitian fenomena-fenomena kecelakaan pada pengoperasian instalasi nuklir pada sisi primer. UUTR merupakan fasilitas simulasi berskala kecil dari suatu instalasi reaktor nuklir dengan menggunakan reaktor tipe PWR (*Pressurized Water Reactor*) dan PHWR

(*Pressurized Heavy Water Reactor*) untuk penelitian fenomena termohidrolika. Fasilitas ini mempunyai tekanan desain 180 bar dan temperatur hingga 357 °C serta memiliki ketinggian komponen-komponen utama yang sama dengan PWR yang diacu. Daya maksimum operasi sebesar 3,2 MW dan bisa menjadi 4 MW jika pemanas mula (*pre heater*) juga dioperasikan. Dibandingkan dengan PWR yang diacu, kapasitas daya dan volume sarana ini adalah 1/1150. Air yang digunakan adalah air demineralized dengan konduktivitas kurang dari 10 µS/m. Data parameter desain UUTR selengkapnya diberikan pada Tabel 1.

UUTR terdiri dari beberapa komponen yang terinstal sehingga membentuk suatu untai (*loop*), untuk menyangga semua komponen tersebut maka dibutuhkan suatu struktur yang berfungsi sebagai penyangga (*support*) instalasi. Struktur UUTR menggunakan *Carbon Steel* ASTM A36 dengan profil H atau sering disebut *H-Beam*. Bentuk dan dimensi *H-Beam* seperti diperlihatkan pada Gambar 1 dan Tabel 2 berikut ini.

Tabel 1. Desain Untai Uji Termohidrolika Reaktor [4]

Parameter Desain	Nilai
Daya maksimum	3.2 MW
Rasio daya	1 : 1150
Rasio volume	1 : 1150
Rasio tinggi	1 : 1
Geometri dan posisi perpipaan	seakurat mungkin
Diameter pipa	Sesuai rugi tekanan
Tekanan desain	18.0 MPa
Temperatur desain	357 °C
Laju alir maksimum	11,8 kg/detik
Tipe pendingin	Air demineralized
Jumlah untai primer	1
Jumlah batang pemanas	36
Jumlah titik pengukuran	64
Kebutuhan daya listrik total	6 MW
Jenis bahan	<i>Stainless Steel</i> (AISI316)



Gambar 1. Bentuk *H-Beam* [5]

Tabel 2. Data dimensi *H-Beam* [5]

Standard Sectional Dimension					Section Area A cm <sup>2</sup>	Unit Weight kg/m	Informative Reference					
Nominal Dimensional mm	H x B mm	t1 mm	t2 mm	r mm			Geometrical Moment Of Inertia		Radius Of Gyration Of Area		Modulus Of Section	
							Ix cm <sup>4</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	ix cm	iy cm	Zx cm <sup>3</sup>	Zy cm <sup>3</sup>
100 x 100	100 x 100	6	8	10	21.90	17.20	383	134	4.18	2.47	76.50	26.7
125 x 125	125 x 125	6.5	9	10	30.31	23.80	847	293	5.29	3.11	136.00	47.00
150 x 150	150 x 150	7	10	11	40.14	31.50	1,640	563	6.39	3.75	219.00	75.10
175 x 175	175 x 175	7.5	11	12	51.21	40.20	2,880	984	7.50	4.38	330.00	112.00
200 x 200	200 x 200	8	12	13	63.53	49.90	4,720	1,600	8.62	5.02	472.00	160.00
250 x 250	250 x 250	9	14	16	92.18	72.40	10,800	3,650	10.80	6.29	867.00	292.00
300 x 300	300 x 300	10	15	18	119.80	94.00	20,400	6,750	13.10	7.51	1,360.00	450.00
350 x 350	350 x 350	12	19	20	173.9	137.00	40,300	13,600	15.20	8.84	2,300.00	776.00
400 x 400	400 x 400	13	21	22	218.7	172.00	66,600	22,400	17.50	10.10	3,330.00	1120.00

Berdasarkan hasil pengukuran secara langsung struktur UUTR menggunakan *H-Beam* dengan ukuran yang berbeda-beda pada level ketinggian. Ukuran *H-Beam* yang digunakan oleh struktur UUTR seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Ukuran *H-Beam* pada struktur UUTR

No.	Level	Ukuran <i>H-Beam</i>
1.	+4,000 meter	250 x 250 mm
2.	+ 8,000 meter	150 x 150 mm
3.	+ 11,000 meter	150 x 150 mm
4.	+14,000 meter	150 x 150 mm
5.	+ 17,000 meter	150 x 150 mm

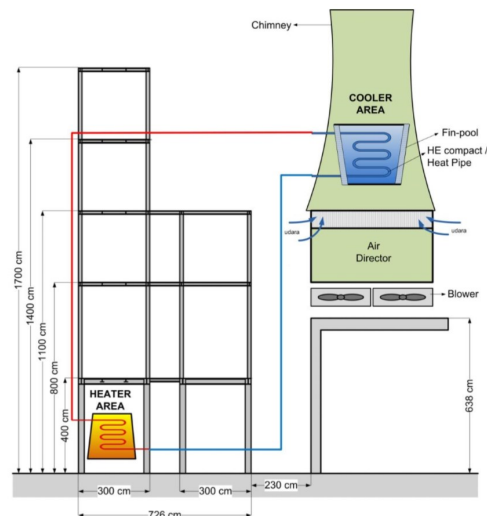
Pada bagian yang berfungsi sebagai penyangga lantai UUTR *H-Beam* yang digunakan berukuran 100 x 100 mm. Bagian lantai dilengkapi dengan kisi-kisi dari logam yang berfungsi sebagai lantai struktur dan dilengkapi pula dengan pagar (*handrail*) untuk menjaga keselamatan ketika operator sedang berada di struktur UUTR. Bahan yang digunakan struktur UUTR adalah *Carbon Steel* ASTM A36, dimana bahan ini mempunyai sifat-sifat mekanik (*mechanical properties*) dan sifat termal (*thermal properties*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. *Mechanical properties Carbon Steel* ASTM A36 [6]

<i>Carbon Steel</i> ASTM A36	
<b><i>Mechanical Properties</i></b>	
<i>Density (kg/m<sup>3</sup>)</i>	7860
<i>Poisson's Ratio</i>	0.32
<i>Young Modulus (N/m<sup>2</sup>)</i>	$2 \times 10^{11}$
<i>Yield Strength (N/m<sup>2</sup>)</i>	$2.5 \times 10^8$
<b><i>Thermal Properties</i></b>	
<i>Thermal Expansion (/K)</i>	$1.17 \times 10^5$

Untuk mengetahui kekuatan mekanik struktur dilakukan melalui pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*). Data mengenai sifat-sifat mekanik dan sifat termal suatu material sangat dibutuhkan karena data tersebut menjadi salah satu data masukan untuk pengujian secara simulasi.

FASE-PRHS (Fasilitas Eksperimen-*Passive Residual Heat Removal System*) merupakan suatu fasilitas eksperimen keselamatan sistem pasif. Desain FASE-PRHS menggunakan struktur UUTR sebagai penopang komponennya seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Desain awal FASE-PRHS [7]

Berdasarkan desain diatas terlihat bahwa yang menambah beban bagi struktur UUTR adalah sistem pemipaan pada sisi ber-temperatur tinggi. Sedangkan komponen FASE-PRHS lainnya seperti *heater* dan

*cooler* tidak menjadi beban struktur UUTR. Panjang pipa sisi bertemperatur tinggi (berwarna merah) 24 meter dengan diameter dalam pipa 6 inchi schedule 20 berat 5048 N<sup>[8]</sup>. Sehingga berat total pipa berisi air sebesar 7748 N. Berat total ditopang oleh struktur pada level 14000 mm dan 11000 mm, masing-masing le-

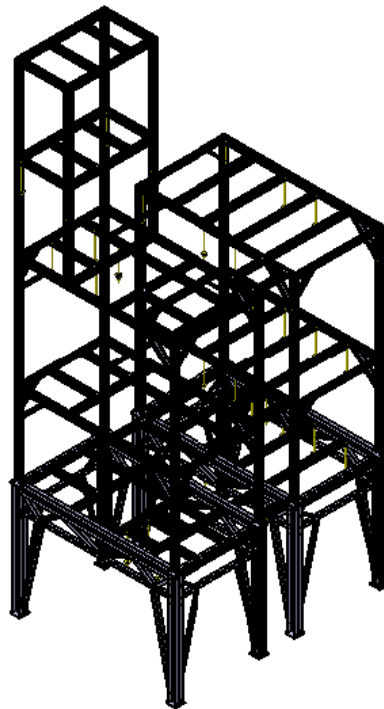
vel mempunyai dua titik berat (total jadi 4 titik berat) untuk penopangan sistem pemipaan FASE-PRHRS. Sehingga besar beban yang ditanggung oleh masing-masing titik berat sebesar 1937 N. Dengan demikian posisi titik berat dan berat komponen-komponen UUTR serta FASE-PRHRS seperti dalam Tabel 5.

Tabel 5. Posisi titik berat dan berat komponen UUTR serta FASE-PRHRS

No.	Komponen	Code	Letak titik berat	Berat (N)
1.	<i>Emergency Cooling Tank</i>	D 101	Level 8000 mm	2430
2.	<i>Steam Generator</i>	-	Level 4000 mm	7500
3.	<i>Chemical Tank</i>	D-202	Level 4000 mm	500
4.	<i>Feeding and Condenser Tank</i>	D 103	Level 8000 mm	3000
	<i>Pneumatic Valve</i>	PV-302	Level 8000 mm	480
	<i>Pneumatic Valve</i>	LCV-205	Level 8000 mm	500
5.	<i>Pressurizer</i>	D 102	Level 11000 mm	4500
	<i>Pneumatic Valve</i>	PCV 102	Level 11000 mm	480
	<i>Pneumatic Valve</i>	PCV 101	Level 11000 mm	500
	<i>Safety Valve</i>		Level 11000 mm	100
6.	<i>Condenser</i>	-	Level 11000 mm	5000
7.	<i>Reducer Valve</i>	-	Level 11000 mm	750
8.	Pemipaan FASE-PRHRS	-	Level 14000 mm	3874
9.	Pemipaan FASE-PRHRS	-	Level 11000 mm	3874

Posisi titik berat dan berat komponen UUTR serta FASE-PRHRS tersebut juga menjadi data masukkan untuk pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur. Data meliputi sifat mekanik dan sifat

termal material struktur serta posisi titik berat dan berat komponen yang ditopang oleh struktur diaplikasikan pada model 3-dimensi struktur UUTR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Peletakan titik berat pada struktur UUTR <sup>[1]</sup>

#### TATA KERJA

Metode pengujian secara simulasi digunakan dalam menganalisis kekuatan mekanik struktur UUTR menggunakan perangkat lunak analisis struktur CATIA dengan tahapan pengujian sebagai berikut [9]:

1. Membuat model 3-dimensi dan melengkapinya dengan sifat-sifat mekanik material yang digunakan yaitu *Carbon Steel* ASTM A36 serta meletakkan titik beban. Sifat mekanik dan termal material yang digunakan dan posisi serta nilai titik beban merupakan data masukan dalam menganalisis kekuatan mekanik struktur UUTR.
2. Memberikan *restrain* pada bagian bawah struktur, *restrain* ini digunakan untuk mensimulasikan kondisi struktur dalam posisi di atas permukaan lantai dan dalam

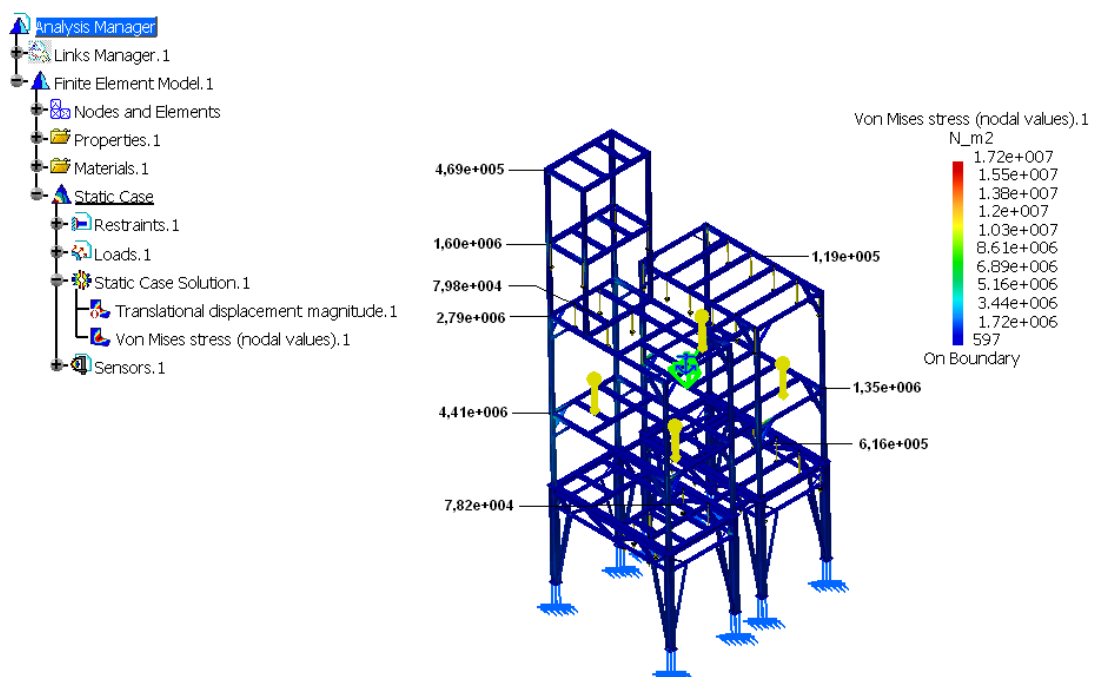
keadaan stabil. Tanpa adanya *restrain* maka analisis menggunakan perangkat lunak analisis struktur tidak dapat dilakukan.

3. Melengkapi dengan nilai percepatan gravitasi pada model 3-dimensi. Hal ini menunjukkan bahwa berat struktur UUTR juga menjadi beban yang harus ditopang oleh struktur UUTR.
4. Melakukan analisis kekuatan mekanik struktur UUTR dengan melakukan pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur. Melalui pengujian secara simulasi ini dapat diperoleh tegangan mekanik dan *translational displacement* pada struktur UUTR dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis kekuatan mekanik struktur meliputi tegangan mekanik dan *translation displacement* pada kondisi adanya beban berupa komponen UUTR dan FASE-PRHRS adalah hasil analisis tegangan mekanik pada struktur dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS melalui pengujian secara simulasi

menggunakan perangkat lunak analisis struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pengujian secara simulasi yang telah dilakukan adalah tegangan mekanik yang terjadi pada struktur UUTR dengan adanya beban berupa komponen UUTR dan FASE-PRHRS ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 4. Hasil pengujian tegangan mekanik pada struktur UUTR dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS

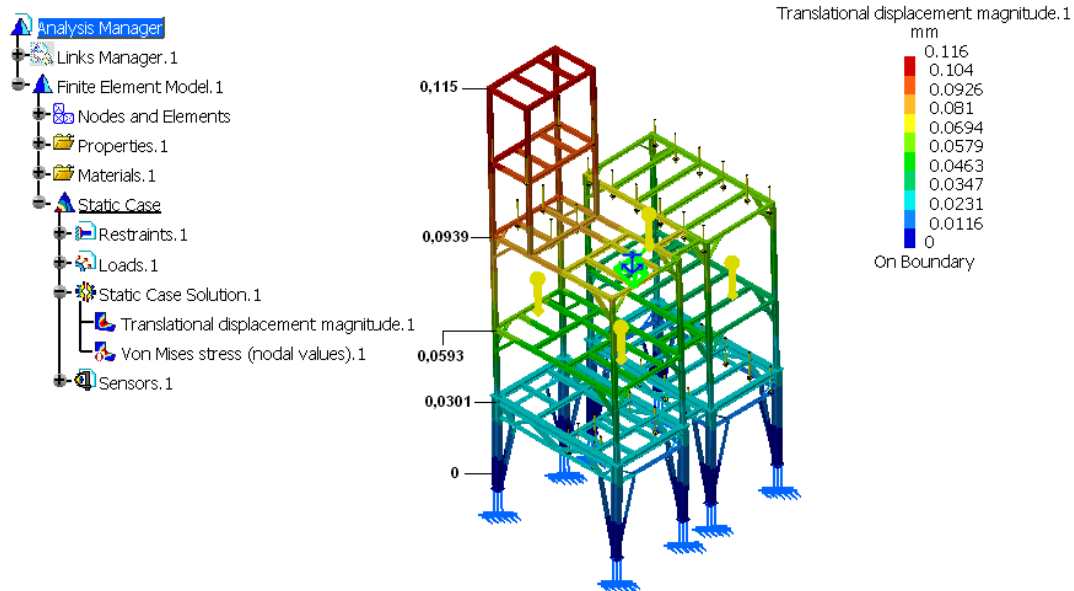
Tabel 6. Hasil pengujian secara simulasi tegangan mekanik pada struktur UUTR dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS

No.	Posisi	Tegangan Mekanik Tanpa beban UUTR <sup>[2]</sup>	Tegangan Mekanik dengan beban UUTR <sup>[2]</sup>	Tegangan Mekanik dengan beban UUTR dan PRHRS
1.	Titik berat <i>Steam Generator</i>	$4,70 \times 10^4 \text{ N/m}^2$	$6,90 \times 10^4 \text{ N/m}^2$	$7,82 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
2.	Titik berat <i>Feeding Tank</i>	$1,56 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$4,19 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$6,16 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
3.	Sudut persambungan lantai 2 sisi kiri	$3,16 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$3,91 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$4,41 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
4.	Sudut persambungan lantai 2 sisi kanan	$9,38 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$1,27 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$1,35 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
5.	Titik berat <i>Pressurizer</i>	$6,70 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$7,35 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$7,98 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
6.	Titik berat <i>Reducer Valve</i>	$6,55 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$8,04 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$1,19 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
7.	Sudut persambungan lantai 3	$1,67 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$2,43 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$2,79 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
8.	Sudut persambungan lantai 4	$6,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$4,63 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$1,60 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
9.	Sudut persambungan lantai 5	$3,36 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$4,43 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$4,69 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Besaran tegangan mekanik maksimal pada struktur UUTR dengan beban berupa komponen UUTR dan FASE-PRHRS sebesar  $4,41 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> dengan posisi yang sama dengan pengujian secara simulasi tanpa beban dan dengan beban UUTR. Jika dibandingkan dengan *yield strength* material *Carbon Steel ASTM A36*  $2,5 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, besar tegangan mekanik yang terjadi jauh lebih kecil daripada *yield strength* material yang digunakan. Dengan demikian

struktur aman untuk menopang struktur UUTR sendiri, komponen UUTR dan komponen FASE-PRHRS.

Hasil analisis *translation displacement* pada struktur dengan beban komponen UUTR dan komponen FASE-PRHRS melalui pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengujian *Translational Displacement* pada struktur UUTR dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS

Hasil pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur untuk mengetahui besar *translation displacement* pada struktur dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS mendapatkan besaran *translation displacement* terbesar yaitu 0,1150 mm yang terjadi pada lantai 4 (bagian teratas struktur). *Translation displacement* yang terjadi

pada struktur UUTR dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS meningkat dibandingkan dengan kondisi *translation displacement* struktur tanpa beban dan kondisi *translation displacement* struktur dengan beban komponen UUTR seperti diperlihatkan pada Tabel 7 berikut.



Tabel 7. Hasil pengujian *Translational Displacement* pada struktur UUTR dengan beban komponen UUTR dan FASE-PRHRS

No.	Posisi	<i>Translational displacement</i>		
		Tanpa beban UUTR <sup>[2]</sup>	Dengan beban UUTR <sup>[2]</sup>	Dengan beban UUTR dan PRHRS
1.	Ground	0 mm	0 mm	0 mm
2.	Lantai 1	0,0266 mm	0,0281 mm	0,0301 mm
3.	Lantai 2	0,0513 mm	0,0552 mm	0,0593 mm
4.	Lantai 3	0,0785 mm	0,0847 mm	0,0939 mm
5.	Lantai 4	<b>0,0970 mm</b>	<b>0,1030 mm</b>	<b>0,1150 mm</b>

Dari hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui *translation displacement* yang terjadi pada struktur UUTR semakin besar beban yang harus ditopang oleh struktur maka mengakibatkan *translation displacement* meningkat. *Translation displacement* yang terjadi relatif kecil sehingga tidak mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk pada struktur UUTR.

#### KESIMPULAN

Hasil pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur menunjukkan bahwa tegangan mekanik dan *translation displacement* pada UUTR meningkat dengan adanya beban berupa komponen UUTR dan FASE-PRHRS dibandingkan dengan kondisi struktur tanpa beban dan dengan beban komponen UUTR. Tegangan mekanik terbesar yang terjadi yaitu  $4,41 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>, sedangkan *translation displacement* terbesar yaitu 0,1150 mm. Tegangan mekanik yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan dengan *yield strength* bahan Carbon Steel ASTM A36 dan masih dalam daerah elastis material. Sedangkan *translation displacement* yang terjadi sangat kecil sehingga

tidak mengakibatkan perubahan bentuk pada struktur UUTR. Dengan demikian struktur UUTR dalam kondisi aman dengan adanya pembebanan berupa komponen UUTR dan FASE-PRHRS.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan dengan adanya DIP-PA-PTKRN tahun anggaran 2016 untuk kegiatan penelitian ini. Juga kepada Kepala BPFKR selaku atasan langsung dan teman-teman Subbidang Fasilitas Termohidrolika atas diskusi teknis dalam penyusunan makalah ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. DEDY HARYANTO, MULYA JUARSA, SAGINO, "Analisis Kekuatan Mekanik Struktur Untai Uji Termohidrolika Reaktor Menggunakan Perangkat Lunak Uji Struktur", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016.
2. MHD. DAUD PINEM, "CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi", Kawah Media, Jl. H. Montong No. 57, Ciganjur

- Jagakarsa, Jakarta Selatan 12630, 2009.
3. ANONIM, *Yield Strength-Strength (Mechanics) of Materials Strength/ Mechanics of Materials*, [http://www.engineersedge.com/material\\_science/yield\\_strength.htm](http://www.engineersedge.com/material_science/yield_strength.htm), December 1st, 2011.
  4. ANHAR R. ANTARIKSAWAN, MULYA JUARSA, JOKO PRASETIO W, EDY SUMARNO, KISWANTA, DAN ISMU HANDOYO, "Simulasi Efek Ukuran dan Lokasi Kebocoran Pipa Pendingin Reaktor Nuklir Menggunakan Fasilitas Eksperimen UUTR.Mod-I", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Volume 9, Nomor 2, Mei 2007, 77 - 85
  5. <http://www.docstoc.com/docs/74740911/H-Beam-geometrical-moment-of-inertia>, diunduh tanggal 18 Pebruari 2015.
  6. DEDY HARYANTO, KUSSIGIT SANTOSA, "Analisis Tegangan Mekanik Dan *Translational Displacement* Pada Struktur *Experiment* Kanal", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2015* ISSN 2355-7524, Denpasar 15-16 Oktober 2015
  7. MULYA JUARSA, "Desain Konsep Fasilitas Eksperimen Untai Sistem Fasip Skala Besar FASE-PRHRS", *Laporan Usulan Penelitian PTKRN-BATAN Tahun 2015*.
  8. <http://www.wijayamakmur.com/tabel/tabel-pipa/59-tabel-ukuran-dan-berat-pipa-schedule-stainless-steel-duplex-standart-6000-mm>, diunduh tanggal 19 Juli 2016.
  9. DEDY HARYANTO, RISWAN DJAMBIAR, SAGINO, "Analisis Rancangan Kit Holder Pada Mesin Universal Gerinding RUP/1500", *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, Yogyakarta 9 September 2014