

Rancang bangun struktur penyokong pada untai rektangulir FASSIP-04 Ver.1 menggunakan material baja profil AISI 1015

Raden Muhamad Farhan Ruswendi^{a,1}, Putut Hery Setiawan^b, Dwi Yuliaji^{ac,2},
Ryan Oktaviandi^c, Esa Putra Ariesta Raharjo^c, Galih Abdul Aziz^a, Mulya Juarsa^{ab,3,*}

^aEngineering Development for Energy Conservation (EDfEC) Research Group, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. K.H. Soleh Iskandar KM.2, Kedung Badak, Kota Bogor 16162, Jabar
^bReactor Thermal-Fluids System Development (RTFSyDev) Research Group, Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, BRIN. Gedung 80 KST. B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan 15314, Banten
^cDepartemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Jl. Grafika No.2, Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

¹radenmuhamadparhan5@gmail.com

²dwi.yuliaji@uika-bogor.ac.id

*corresponding author: ³mulya.juarsa@brin.go.id

ABSTRACT

Design and Construction of Supporting Structures on Rectangular Strands FASSIP-04 Ver.1 Using AISI 1015 Profile Steel Material. Rectangular loop FASSIP-04 Ver.1 is a research tool consisting of a Rectangular loop with dimensions of 304 cm long and 102 cm wide. The heater and cooler are attached to the loop with a certain height difference. Nanofluid is the working fluid that circulates naturally in the loop. The Support Structure is one of the components in the FASSIP-04 Ver.1 Rectangular loop for research on loading testing. This research aims to obtain simulation results and design of the Support Structure on the Rectangular loop of FASSIP-04 Ver.1 using 3D software. This research method is carried out by simulation to find objects' stress, strain, and shape changes (displacement). The mass of the rectangular loop FASSIP-04 Ver.1 is obtained from the calculation of the mass of each component, such as the shaft, Rectangular frame, SS 201 pipe, water, Water Heating Tank, and Water Cooling Tank. The result of the calculation of the total mass of the 1 inch. The 2-inch and 3-inch rectangular loop is 138.7382 kg; the total mass value is for simulating the loading point. Furthermore, based on the results of the calculated equation, a Safety Factor value of 3.9 can be obtained. Then, the value of the Safety Factor must be greater than the number one so that this Support Structure is very safe to withstand the overall load of 138.7382 kg.

Keywords: AISI 1015, rectangular loop, safety factor, simulation, support structure, FASSIP-04 Ver.1

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Peristiwa kecelakaan Fukushima Dai-ichi terjadi pada maret 2011, kecelakaan tersebut terjadi karena satu penyebab utama yaitu gempa dan gelombang tsunami yang menyebabkan seluruh sistem reaktor mengalami kejadian *Station Black Out* (SBO) [1] [2]. Berdasarkan peristiwa tersebut, riset terkait manajemen termal terus ditingkatkan secara signifikan, terutama untuk keamanan PLTN. Kecelakaan reaktor tersebut sangat diperlukan keselamatan yang sifatnya pasif (*passive safety*) dan melekat (*inherent safety*) [3].

Berdasarkan uraian di atas, maka dibutuhkan inovasi untuk mempelajari kecelakaan reaktor dari kejadian *Station Black Out* (SBO) dengan merancang alat penelitian FASSIP-04 Ver.1.

Penomoran 04 pada alat penelitian tersebut merupakan urutan generasi pembuatannya. FASSIP-04 Ver.1 adalah alat penelitian yang terdiri dari Rektangulir *loop* dengan dimensi panjang 304 cm dan lebar 102 cm. *Heater* dan *cooler* terpasang pada *loop* dengan beda ketinggian tertentu. Nanofluida Al_3O_2 dengan konsentrasi 3% yang dicampur dengan fluida air yang bersirkulasi secara alami di dalam *loop* [4].

Objek penelitian yang akan menjadi bahan pengujian adalah Struktur Penyokong pada Untai Rektangulir FASSIP-04 Ver.1. Pengujian tersebut untuk mencari massa Untai Rektangulir *loop* ukuran 1-3 inch dan akan di simulasikan untuk mencari regangan (*strain*), perubahan bentuk pada benda (*displacement*), dan tegangan (*stress*). Nilai *safety factor* pada Struktur Penyokong perlu di perhitungkan untuk

mengetahui nilai batas keamanan terhadap beban defleksi.

METODE PENELITIAN

Tahapan pengujian secara simulasi menggunakan *software* 3 dimensi untuk menganalisis kekuatan mekanik adalah sebagai berikut:

1. Desain Struktur Penyokong

Pada tahapan ini desain Struktur Penyokong sebagai bahan simulasi penelitian, desain tersebut dilengkapi dengan sifat mekanik pada material baja profil AISI 1015.

Objek bahan simulasi pengujian adalah bagian Struktur Penyokong, dapat dilihat pada gambar 2.

Gambar 2 adalah desain 3 dimensi dari Struktur Penyokong yang akan digunakan dalam pengujian secara simulasi. Pada desain tersebut diaplikasikan sifat mekanik berdasarkan material yang digunakan dalam desain Struktur Penyokong.

Untuk mengetahui detail desain FASSIP-04 Ver.1 dapat dilihat pada gambar 3.

Gambar 3 adalah detail desain pada FASSIP-04 Ver.1. Gambar tersebut adalah konsep gambar yang akan dikonstruksi dan menampung massa total sebesar 138,7382 kg. Dilihat dari jenis pembebanan, Struktur Penyokong mengalami pembebanan dinamis dikarenakan beban yang terjadi bekerja secara tiba-tiba dan tidak bersifat tetap (*unsteady-state*).

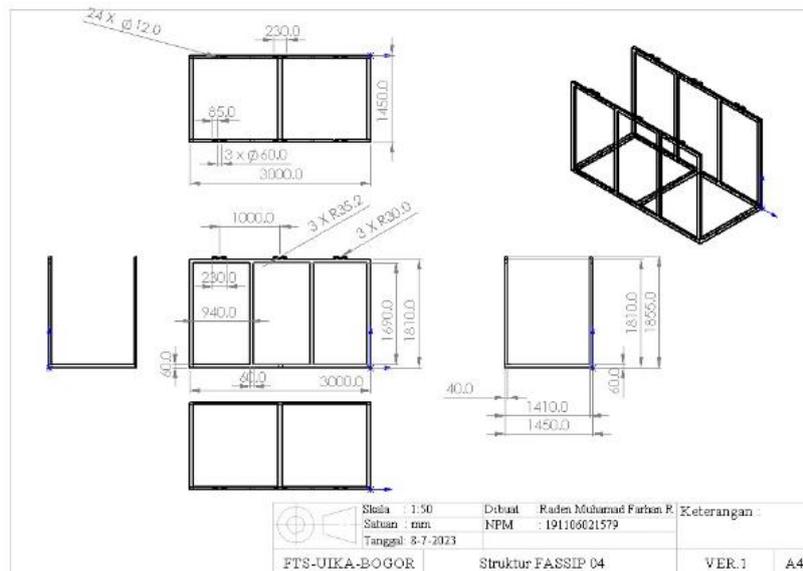
2. Massa Untai Rektangular loop 1-3 inch

Massa total pada Untai Rektangular loop sebesar 138,7382 kg. Hasil perhitungan massa meliputi komponen pada *frame* Untai Rektangular, poros penyangga, Rektangular loop ukuran 1-3 inch, massa air dalam Rektangular loop, *Water Heating Tank* (WHT), dan *Water Cooling Tank* (WCT).

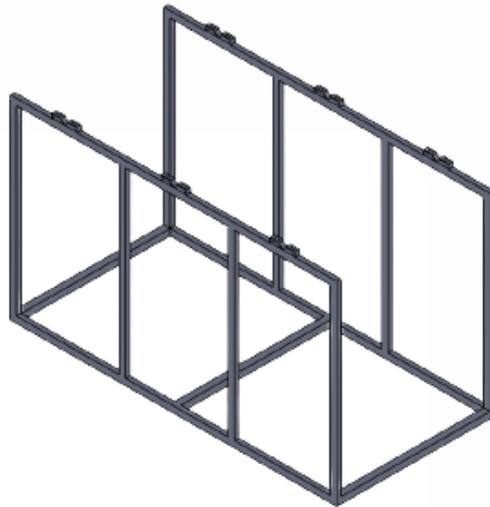
Tabel 1 Sifat mekanik baja profil AISI 1015

Parameter	Nilai
Yield Strength	$3,25 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Tensile Strength	$3,85 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Shear Moudulus	$8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Density	7870 kg/m^3
Poisson's Ratio	0.29 N/A
Thermal Ekpantion	$1.25E-05 \text{ K}$

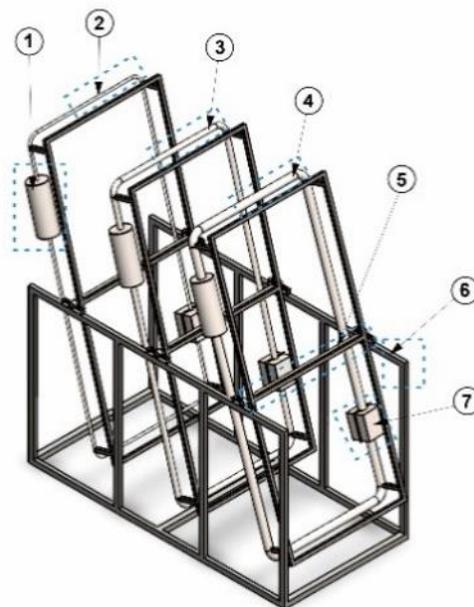
Desain 2 dimensi Struktur Penyokong sebagai berikut:



Gambar 1 Desain 2 dimensi FASSIP-04 Ver.1



Gambar 2. Struktur Penyokong FASSIP-04 Ver.1



Gambar 3. Desain FASSIP-04 Ver.1

Keterangan gambar 3:

1. *Water Heating Tank*
2. *Rektangular loop 1 inch*
3. *Rektangular loop 2 inch*
4. *Rektangular loop 3 inch*
5. *Support Rektangular loop*
6. *Struktur Penyokong*
7. *Water Cooling Tank*

3. *Regangan (Strain)*

Regangan pada Struktur Penyokong dapat dikatakan tingkat deformasi yang dapat

memanjang, memendek, membesar, mengecil, dan sebagainya.

4. *Perubahan bentuk (displacement)*

Perpindahan material dari titik awal ke titik akhir yang sudah terkena gaya tekan atau beban (*force*) dari proses pengepresan.

5. Tegangan (*Stress*)

Gaya reaksi atau gaya yang bekerja untuk mengembalikan suatu benda, kepada bentuk semula persatuan luas yang terbagi rata pada permukaannya.

6. Safety Factor

Faktor tingkat keamanan struktur dapat dihitung dengan membagi tegangan material dengan tegangan aktual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perhitungan nilai tegangan Struktur Penyokong

Menghitung nilai tegangan yang terjadi pada Struktur Penyokong, dapat diketahui menggunakan persamaan dibawah:

- Perhitungan nilai beban Struktur Penyokong Diketahui:

$$\text{Berat total} = 138,7382 \text{ kg}$$

$$\text{Luas penampang} = 0,162384 \text{ m}^2$$

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

$$F = 138,7382 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}$$

$$F = 1359,63436 \text{ N}$$

- Perhitungan kekuatan tegangan aktual ditinjau dari material

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{1359,63436}{0,162384}$$

$$\sigma = 8372,957 \text{ N/m}^2$$

2. Perhitungan defleksi pada Struktur Penyokong

Menghitung nilai momen inersia pada batang Struktur Penyokong bertujuan untuk mencari nilai defleksi, berikut persamaan momen inersia pada batang:

$$I = \frac{1}{12} ML^2 \quad (3)$$

$$= \frac{1}{12} (9,24 \text{ kg})(6 \text{ m})^2$$

$$= 0,77 \text{ Kg/m}^2$$

Dengan L = Panjang batang homogen (m), M = massa (kg), I = Momen inersia (kg/m^2).

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai momen inersia sebesar $0,77 \text{ kg/m}^2$. Untuk mencari nilai defleksi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\delta = \frac{F \times P^3}{3 \times E \times I} \quad (4)$$

$$= \frac{(1359,63436 \times 10^3) \times (6000 \times 10^3)^3}{3 \times (8 \times 10^{10}) \times (0,77)}$$

$$= 1,589 \times 10^{15} \text{ mm}$$

Dengan δ = Defleksi batang (mm), F = Beban pada batang (N), P = Panjang batang (mm), E = Modulus elastisitas (N/m^2), I = Momen inersia (kg/m^2).

1. Perhitungan nilai regangan

Menghitung nilai pertambahan panjang pada Struktur Penyokong dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta L = \frac{F \times P}{E \times A} \quad (5)$$

$$= \frac{1359,63436 \times 6000}{8 \times 10^{10} \times 0,162384}$$

$$= 6,2797 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai pertambahan panjang sebesar $6,2797 \times 10^{-4} \text{ mm}$. Untuk mencari nilai Regangan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$e = \frac{\Delta L}{L}$$

$$e = \frac{6,2797 \times 10^{-4}}{40}$$

$$e = 1,5699 \times 10^{-5}$$

Dengan e = Regangan (N/m^2), ΔL = Pertambahan panjang (mm), P = Panjang pengelasan (mm), F = Gaya (N), A = Luas penampang (m^2), E = Modulus elastisitas (N/m^2).

2. Perhitungan Safety Factor

Menghitung *Safety Factor* bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan Struktur Penyokong dengan membagi tegangan material dengan tegangan aktual. Untuk mendapatkan nilai *Safety Factor* menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Safety Factor} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{kerja\ aktual}} \quad (7)$$

$$\text{Safety Factor} = \frac{3,316 \times 10^7}{8372,957}$$

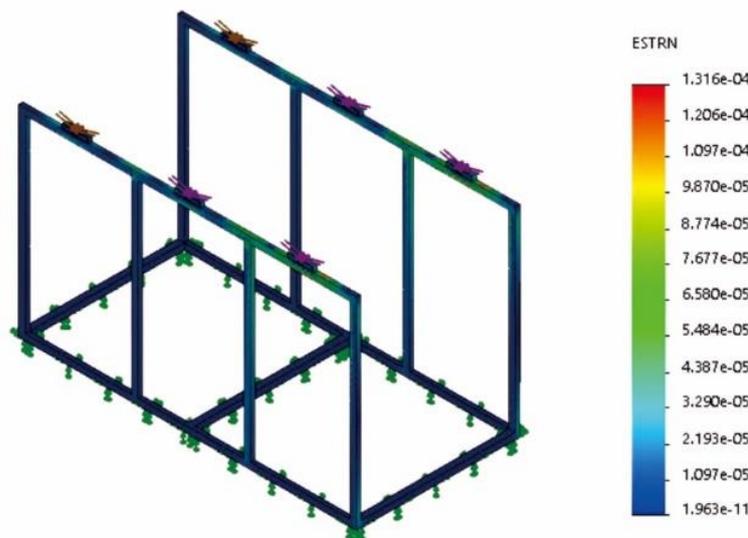
$$\text{Safety Factor} = 3,9$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan membagi tegangan maksimal material dengan nilai tegangan kerja aktual didapatkan nilai *Safety Factor*

sebesar 3,9. Dapat dipastikan nilai ini masih berada di batas aman saat terkena beban yang dialami Struktur Penyokong.

Hasil analisis kekuatan mekanik Struktur Penyokong meliputi regangan (*strain*), perubahan bentuk benda (*displacement*), dan tegangan (*stress*) pada kondisi adanya beban berupa komponen yang di topang struktur adalah hasil analisis melalui pengujian secara simulasi menggunakan software 3 dimensi.

Dalam pengujian secara simulasi untuk mengetahui kekuatan mekanik suatu rancangan diperlukan data masukan berupa sifat mekanik dari material yang digunakan [5]. Hasil perhitungan secara simulasi yang dilakukan pada Struktur Penyokong dengan adanya beban penopang 138,7382 kg ditunjukkan pada gambar 4,5, dan 6.



Gambar 4. Hasil *Strain* yang terjadi pada Struktur Penyokong

Pengujian regangan bertujuan untuk mengetahui terjadinya *strain* akibat adanya massa yang ditopang oleh Struktur Penyokong. Hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui besar regangan mekanik yang terjadi pada Struktur Penyokong ditunjukkan pada gambar 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa titik minimum regangan sebesar

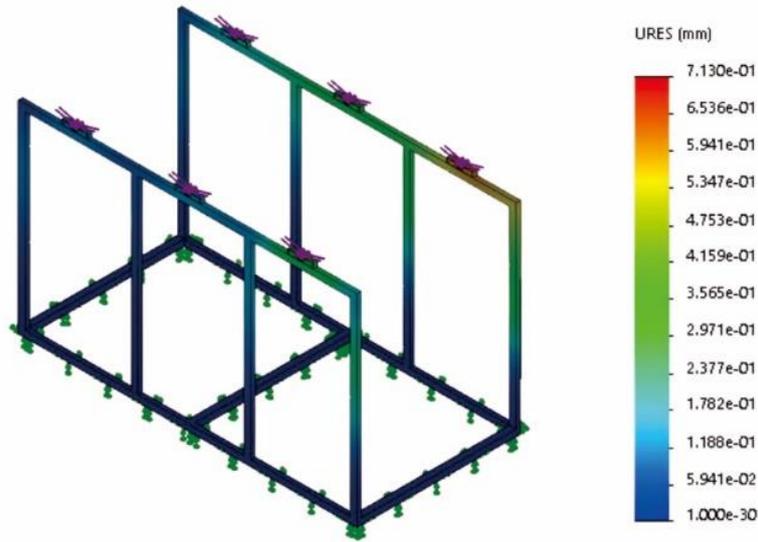
$1.963e - 11$ dan titik maksimum sebesar $1.316e - 04$. Kemudian pada rancangan desain yang disimulasikan berwarna biru menandakan tidak terjadinya regangan pada bagian tersebut, sedangkan rancangan desain yang berwarna

hijau sampai kuning menandakan adanya regangan yang mulai naik (gambar 4).

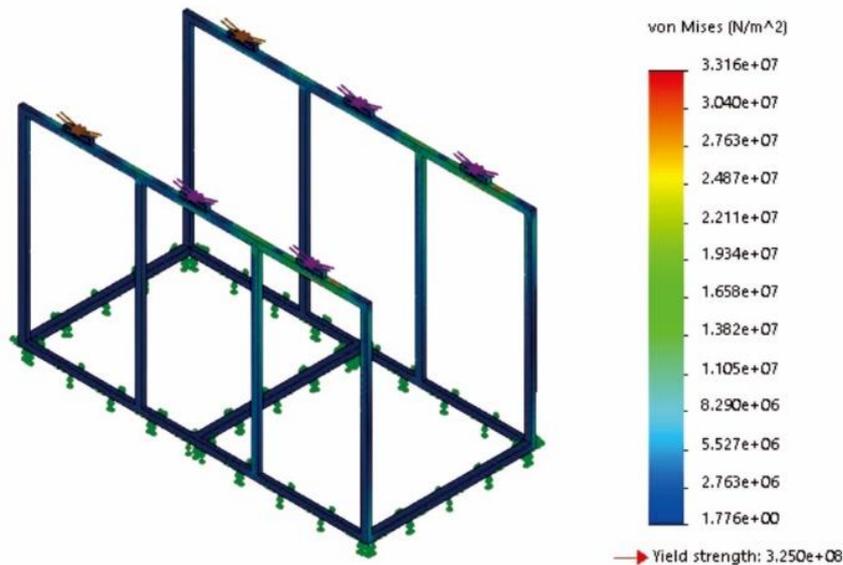
Hasil pengujian secara simulasi untuk mengetahui besar *displacement* yang terjadi pada rancangan Struktur Penyokong ditunjukkan pada gambar 5. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya perubahan bentuk pada rancangan Struktur Penyokong saat dikenai massa berupa tekanan dan temperatur. Hasil pengujian secara simulasi menunjukkan besar *displacement* dapat disimpulkan bahwa titik minimum dari perubahan bentuk Struktur Penyokong sebesar $0.000e + 00\text{ mm}$, dan titik maksimum sebesar $7.130e - 01\text{ mm}$. Kemudian pada rancangan desain yang disimulasikan berwarna

biru menandakan tidak terjadinya perubahan bentuk pada bagian tersebut, sedangkan rancangan desain berwarna hijau sampai kuning

menandakan terjadinya perubahan bentuk pada bagian tersebut (gambar 5).



Gambar 5. Hasil *Displacement* yang terjadi pada Struktur Penyokong

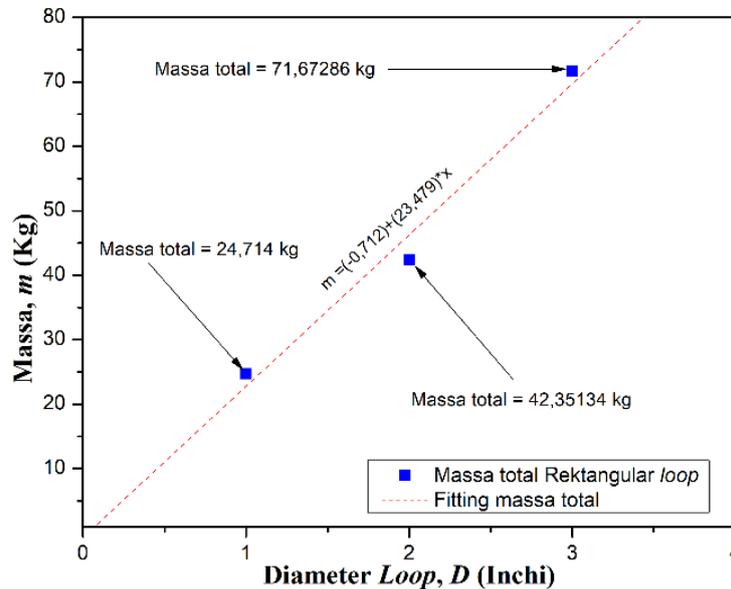


Gambar 6. Hasil *Stress* yang terjadi pada Struktur Penyokong

Pengujian tegangan mekanik ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya *Stress* akibat adanya massa yang di topang oleh Struktur Penyokong. Hasil pengujian untuk mengetahui besar tegangan mekanik yang terjadi pada rancangan Struktur Penyokong yang ditunjukkan pada gambar 6. Hasil pengujian menunjukkan adanya tegangan maksimum sebesar $3,316E+07$ N/m² dan tegangan minimum sebesar $1,776E+00$

N/m². Pada Struktur Penyokong yang paling banyak menerima tegangan pada bagian berwarna hijau kebiruan, berarti bisa dilihat pada parameter di sebelah gambar Struktur Penyokong yaitu pada nilai $1,105E+07$ N/m², dan bagian bawah permukaan *support* Untai Rectangular yaitu pada nilai $1,382E+07$ N/m² (gambar 6).

Hasil perhitungan massa total Rektangular dapat diketahui melalui grafik nilai massa pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik nilai perbandingan Rektangular loop pada FASSIP-04 Ver.1

Hasil grafik untuk mengetahui nilai perbandingan massa secara visual. Berdasarkan grafik perbandingan massa di atas menunjukkan meningkatnya massa rektangular loop dari 1 inch sampai dengan 3 inch. Simbol fitting berwarna merah terdapat kenaikan massa yang sangat signifikan, hal ini dipengaruhi oleh beda massa suatu benda.

KESIMPULAN

Dari simulasi dan hasil perhitungan yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan berupa hasil desain dan simulasi dapat dijadikan acuan penting sebelum proses konstruksi dilakukan sehingga kegagalan pada saat melakukan konstruksi dapat dihindari. Hasil simulasi pada regangan dapat disimpulkan bahwa titik minimum sebesar $1.963E-11$ dan titik maksimal sebesar $1.316E-04$, berikutnya simulasi perubahan bentuk benda dapat disimpulkan bahwa titik minimum sebesar $0.00E+00$ mm dan titik maksimum sebesar $7.130E-01$ mm, dan simulasi tegangan dapat disimpulkan bahwa pada titik maksimum sebesar $3.316E+07$ N/m² dan titik minimum sebesar $1.776E+00$ N/m². Selanjutnya, berdasarkan hasil persamaan yang telah dihitung, dapat diperoleh nilai *Safety Factor* sebesar 3,9. Maka, besar nilai *Safety Factor* harus lebih besar dari angka 1, sehingga Struktur Penyokong ini sangat

aman untuk menahan beban keseluruhan sebesar 138,7382 kg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Riset untuk Riset Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) batch 1 tahun 2022-2025 dengan nomor kontrak B-811/II.7.5/FR/6/2022 dan B-2103/III.2/HK.04.03/7/2022. Terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN), Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN), serta Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Terima kasih juga kepada seluruh anggota Kelompok Riset Sistem Termal-Fluida Reaktor Nuklir (RTFSyDev). Terima kasih disampaikan kepada para Mahasiswa peneliti di Kelompok Penelitian EDfEC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. E. Agency, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, Ten Years On: Progress, Lessons, and Challenge, 2021, pp. 9-69.
- [2] A. R. Antariksawan and M. Juarsa, Keselamatan Reaktor Nuklir: Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelakaan Parah,

Jakarta: BATAN Press : Jakarta, 2018,
2018, pp. 1-169.

- [3] R. Anindya, "Studi Keselamatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir," *Jurnal Unisma Bekasi* , no. Seminar Nasional Sinergi (Energi dan Teknologi), pp. 17-23, 2019.
- [4] Dwi Yuliaji et al., "Uji komisioning Fasilitas Sistem Simulasi FASSIP-04 Ver.2 Untuk Studi Kemampuan Pendinginan Pasif Pada Sistem Keselamatan Reaktor Nuklir," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 57-63, Maret 2023.
- [5] Dedy Haryanto et al., "Analisis Unjuk Kerja Rancangan Steam Condensation Tank Berbasis Simulasi Software," *SIGMA EPSILON - Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, vol. 25, no. 1, pp. 51-61, Mei 2021.