



Analisis Distribusi Temperatur dan Laju Aliran Fluida Kerja pada Untai FASSIP-01 Mod.2

**NATHANIEL EZER PUTRA DARMAWAN¹, GIARNO², DEDY HARYANTO²,
AINUR ROSIDI², G. B. HERU K², MULYA JUARSA²**

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,

²Grup Riset Pengembangan Sistem Termo-Fluida Reaktor, Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan Reaktor, Nuklir (PRTRKN) Organisasi Riset Tenaga Nuklir (BATAN)
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Email: ezermaster20@gmail.com

ABSTRAK

Untai FASSIP-01 loop merupakan fasilitas yang dimiliki oleh PRTRKN BATAN-BRIN yang digunakan untuk meneliti fenomena sirkulasi alam. Untai FASSIP-01 loop telah mendapatkan dua kali modifikasi karena beberapa eksperimen sebelumnya menunjukkan hasil yang tidak optimal. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui persebaran temperatur dan laju aliran fluida kerja sebelum dilakukannya eksperimen. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi dengan menggunakan software ANSYS versi 19.2. Simulasi akan menggunakan model 2 dimensi dan mengkondisikan temperatur WHT pada temperatur 80°C, serta memvariasikan temperatur WCT pada temperatur 5°C, 10°C, 15°C dan 20°C. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa perubahan temperatur terbesar hanya terjadi di outlet WHT dan WCT, sedangkan untuk laju aliran tercepat adalah dari outlet WCT hingga inlet WHT. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa laju aliran yang baik adalah ketika variasi temperatur water cooling tank berada pada 15°C, dengan perbandingan laju minimumnya adalah 0,0000031 m/s dan laju aliran maksimumnya adalah 0,013 m/s.

Kata Kunci: *FASSIP-01 Mod.2, sirkulasi alam, persebaran temperatur, laju aliran*

ABSTRACT

The FASSIP-01 loop is a facility owned by PRTRKN BATAN-BRIN which is used to do research on natural-circulation phenomenon. The FASSIP-01 loop has modified for two times as because the previous experiments shown the not optimum results. The purpose of this research is to find out the deployment temperatures and flow rate before experiment will be done. The method for this research will be used simulation by using ANSYS software version 19.2. The FASSIP-01 loop will draw into 2-dimensional model and vary the condition of the WHT temperature at 80°C, and varies the WCT temperature at 5°C, 10°C, 15°C and 20°C. Based on simulation results, known that the largest temperature changes only occur at the outlet of the heating tank and cooling tank, while the fastest flow rate is from the outlet of the cooling tank to the inlet of the heater tank. From the simulation results, it can be concluded that a good flow rate is when the temperature variation of the water cooling tank is at 15°C, with a minimum flow rate 0.0000031 m/s and a maximum flow rate of 0.013 m/s.

Keywords: *FASSIP-01 Mod.2, natural-circulation, temperature deployment, flow rate*

1. PENDAHULUAN

Energi nuklir cukup berperan penting sebagai penyumbang energi listrik di dunia. Tercatat di tahun 2012 energi nuklir menyumbang sekitar 12% dari kebutuhan listrik di dunia (**Lai et al., 2018**). Pentingnya energi nuklir bagi kehidupan ini membuat banyak negara mulai mengembangkan sistem keamanan yang dapat menjamin keamanan dan keselamatan penggunaan energi nuklir tersebut, salah satu sistem keamanan yang sedang dikembangkan adalah sistem pendingin pasif untuk reaktor nuklir. Sistem pendingin pasif akan memanfaatkan fenomena sirkulasi alami untuk proses pendinginan reaktor karena panas peluruhan (*decay heat*), sehingga tidak membutuhkan pompa untuk sirkulasi seperti pada sistem pendingin aktif (**Putra et al., 2019**). Pengembangan sistem pendingin pasif ini bertujuan untuk menggantikan sistem pendingin aktif pada reaktor nuklir karena dianggap lebih aman, sederhana dan dianggap memiliki biaya perawatan yang lebih rendah, bahkan dapat berguna untuk penyerderhanaan desain pada reaktor nuklir generasi terbaru (**Butt et al., 2016; Lv et al., 2016; Marcel et al., 2017; Yu et al., 2017**). Banyak negara telah mendesain dan membangun fasilitas untuk melakukan penelitian terhadap fenomena sirkulasi alami, contohnya seperti GENESIS Facility di Argentina, ATLAS (advanced thermal-hydraulics test loop for accident simulation) di Korea Selatan, PANDA Facility di Swiss dan FASSIP di Indonesia (**Juarsa et al., 2018; Marcel et al., 2017**).

FASSIP merupakan singkatan dari FAsilitas Simulasi Sistem Pendingin Pasif dan alat ini dimiliki oleh Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir - Organisasi Riset Tenaga Nuklir (PRTRKN-ORTN). PRTRKN telah mendesain dan membangun dua generasi FASSIP, yaitu Untai FASSIP-01 Loop dan Untai FASSIP-02. Untai FASSIP-01 Loop merupakan sebuah fasilitas berbentuk loop segi empat yang berbasis *safe and secure* dan digunakan untuk meneliti fenomena sirkulasi alam dalam skala medium (**Juarsa et al., 2018; Noufal et al., 2015**). FASSIP-01 terdiri dari 3 komponen utama yaitu untai pipa sebagai jalur aliran fluida kerja, *water heating tank* sebagai pemanas fluida kerja dan *water cooling tank* sebagai pendingin fluida kerja. Untai FASSIP-01 Loop bekerja dengan memanfaatkan gaya Buoyancy dan gaya gravitasi, dengan memanfaatkan perubahan densitas pada fluida kerja. *Water heating tank* akan memanaskan fluida kerja sehingga densitas dari fluida kerja menurun dan fluida kerja tersebut akan terdorong oleh fluida yang memiliki densitas lebih tinggi, inilah yang menyebabkan gaya Buoyancy pada fluida kerja. Sedangkan ketika fluida kerja melewati *water cooling tank*, kalor pada fluida akan terserap dan densitas fluida kerja akan naik, densitas fluida yang tinggi inilah yang menyebabkan gerak jatuh fluida akan semakin cepat (**Rinaldi et al., 2019**).

Untai FASSIP-01 Loop telah mendapatkan dua kali modifikasi. Untai FASSIP-01 di konstruksi dengan komponen 1 buah *blanket ceramic heater*, 1 buah *Water Cooling Tank (WCT)* dan 32 *section pipes* serta 4 buah *elbow* (**Juarsa et al., 2018; Rinaldi et al., 2019**). Untai FASSIP-01 Mod.1 Loop terdiri 1 buah *Water Heating Tank (WHT)*, 1 buah *Water Cooling Tank (WCT)* dan 32 *section pipes* serta 4 buah *elbow* (**Lesmana et al., 2019**). Beberapa eksperimen telah dilakukan menggunakan variasi dari Untai FASSIP-01 Loop tersebut, namun eksperimen menunjukkan laju aliran yang kurang optimal. Modifikasi kedua dilakukan dengan tujuan mengoptimalkan laju aliran pada Untai FASSIP-01 Loop. Modifikasi kedua akan mengubah jumlah dari *section pipes* nya menjadi lebih sedikit agar mengurangi *pressure drop* yang terjadi aliran fluida kerja. Untai FASSIP-01 Mod.2 nantinya hanya akan menggunakan 8 *section pipes*.

Modifikasi kedua diharapkan mampu mengurangi kerugian pada aliran fluida sehingga saat dilakukan eksperimen, fluida kerja dapat lebih optimal dalam menyerap dan melepas kalor. Namun sebelum dilakukan eksperimen pada untai FASSIP-01 mod.2 loop, perlu dilakukan simulasi terlebih dahulu agar mendapat gambaran dari hasil eksperimen yang akan dilakukan. Tujuan dari penelitian kali ini adalah melakukan simulasi untuk mengetahui persebaran temperatur dan laju aliran fluida kerja pada Untai FASSIP-01 Loop setelah mendapatkan modifikasi kedua. Temperatur fluida saat eksperimen akan berubah-ubah disetiap bagian *section pipes* dan perubahan temperatur ini akan berpengaruh terhadap densitas dari fluida, serta perubahan densitas akan mempengaruhi laju aliran karena berdampak pada gaya Buoyancy dan gaya gravitasi fluida.

2. METODE PENELITIAN

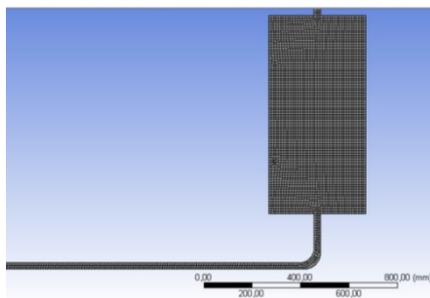
Simulasi untuk penelitian kali ini akan menggunakan *Computational Fluid Dynamic (CFD)* bertujuan untuk memberi gambaran secara kualitatif dan kuantitatif mengenai persebaran temperatur dan laju aliran pada *section pipes* selama eksperimen fenomena sirkulasi alam berlangsung berdasarkan variasi temperatur. Persebaran temperatur ini nantinya akan mempengaruhi densitas fluida kerja yang berdampak pada laju aliran fluida kerja. Laju aliran fluida dapat menunjukkan kinerja fluida dalam menyerap dan melepaskan kalor selama eksperimen. Adapun alat dan bahan serta *setup* simulasi akan dijelaskan pada subbab berikut.

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian kali ini hanya akan menggunakan *software* ANSYS (Fluent) versi 19.2.

2.2 Setup Simulasi

Simulasi diawali dengan mengatur kondisi-kondisi pada proses *meshing*. Dalam proses *meshing*, kondisi yang diubah adalah *element size* menjadi 10 mm dan *element order* menjadi *linear* serta kondisi lainnya tetap dalam keadaan *default*. Hasil *meshing* akan menjadi seperti gambar 5 berikut.



Gambar 1. Hasil proses *meshing*.

Pemilihan proses *meshing* yang tepat dapat menghemat waktu, namun faktor ketelitian juga harus diperhatikan agar hasil yang di dapat bisa dijadikan sebagai salah satu acuan nantinya (Wicaksono et al., 2020). Kondisi pengaturan *meshing* diatas dianggap sudah cukup untuk menghasilkan hasil simulasi yang teliti nantinya. Setelah berhasil di *generate*, bagian *water heating tank* dan *water cooling tank* diberikan penamaan komponen dengan memilih menu *named selection*, setelah itu pilih *generate* kembali dan simulasi akan dimulai. *Setup* simulasi yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kondisi pengaturan pada simulasi laju aliran Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop.

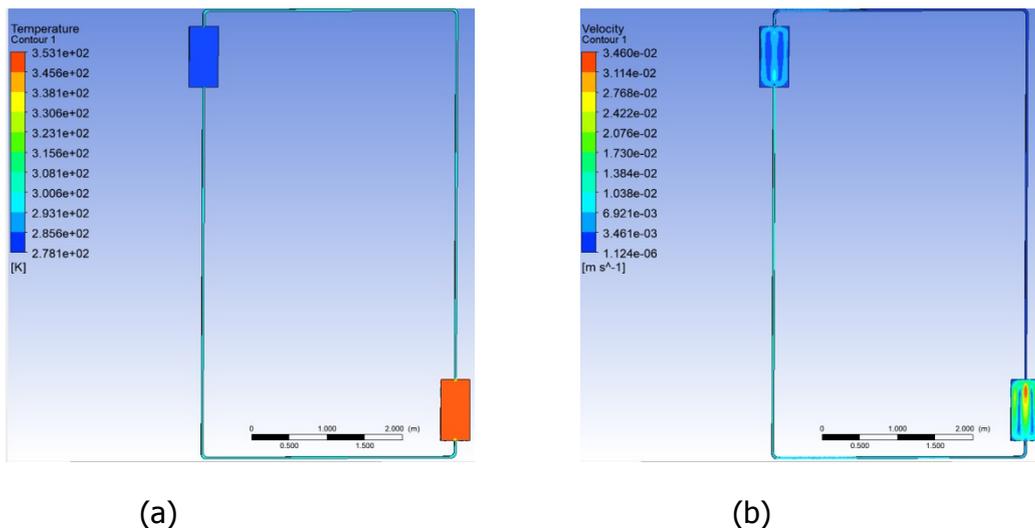
Parameter	Kondisi Pengaturan
<i>Double Precision</i>	<i>On</i>
<i>General</i>	
<i>Flow type</i>	<i>Density base</i>
<i>Time</i>	<i>Transient</i>
<i>Gravity</i>	<i>On</i>
<i>Gravitational acceleration</i>	<i>Y = 9,81 m/s</i>
<i>Models</i>	
<i>Energy</i>	<i>On</i>
<i>Materials</i>	
<i>Fluid – Water liquid</i>	<i>Incompressible gas</i>
<i>Solid -Steel</i>	<i>Constant</i>
<i>Cell zone conditions</i>	
<i>Surface_body</i>	<i>Water liquid</i>
<i>Boundary conditions</i>	
<i>Water heating tank</i>	<i>80 °C</i>
	<i>Wall thickness = 0.004 m</i>
	<i>Material name = steel</i>
<i>Water cooling tank</i>	<i>5 °C, 10 °C, 15 °C dan 20 °C</i>
	<i>Wall thickness = 0.004 m</i>
	<i>Material name = steel</i>
<i>Wall-surface_body</i>	<i>Wall thickness = 0.004 m</i>
	<i>Material name = steel</i>
<i>Run calculation</i>	
<i>Time step size</i>	<i>1</i>
<i>Number of time steps</i>	<i>1000</i>
<i>Max iterations/time step</i>	<i>10</i>
<i>Reporting interval</i>	<i>1</i>
<i>Profile update interval</i>	<i>1</i>

Simulasi akan dijalankan menggunakan gambar dua dimensi dimana geometri ini dianggap timpang (memiliki ukuran yang terlalu panjang dan tipis), maka kondisi *double precisions* harus dalam kondisi *on* karena kondisi ini memungkinkan untuk menghasilkan data simulasi yang lebih teliti. Kondisi yang tidak dicantumkan pada tabel 1 akan dibiarkan dalam kondisi *default*. Setelah selesai melakukan pengaturan, maka simulasi sudah bisa dilaksanakan.

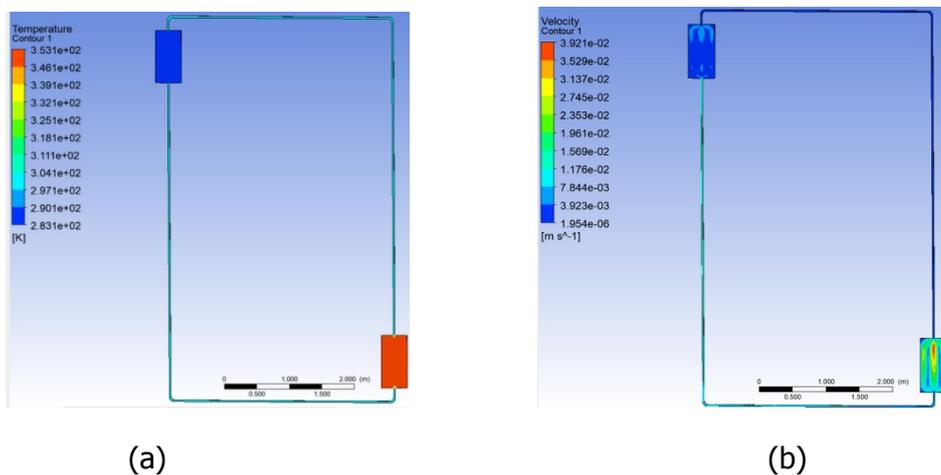
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan menggunakan gambar dua dimensi dari Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop dan dengan total 10000 iterasi. Hasil dari simulasi ditunjukkan oleh gambar 7 sampai gambar 10 dibawah ini.

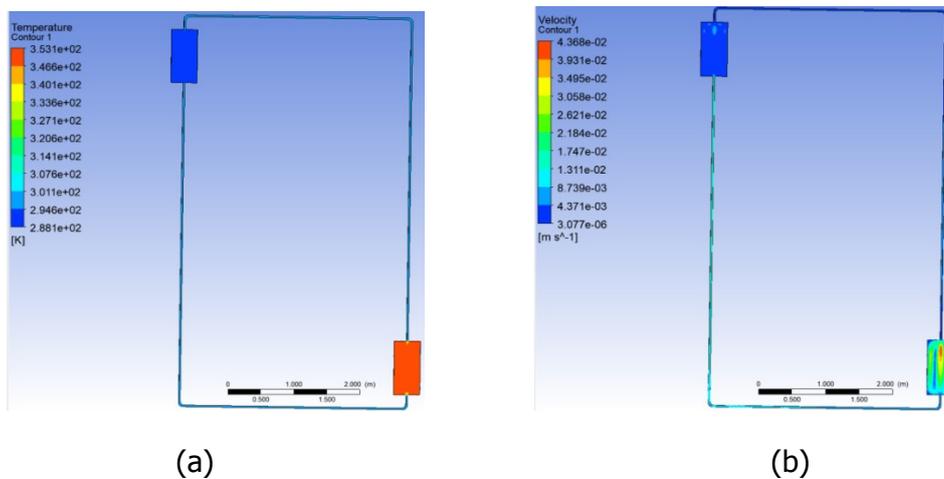
Analisis Persebaran Temperatur dan Laju Aliran pada Untai FASSIP-01 Mod.2 Berdasarkan Variasi Temperatur *Water Cooling Tank*



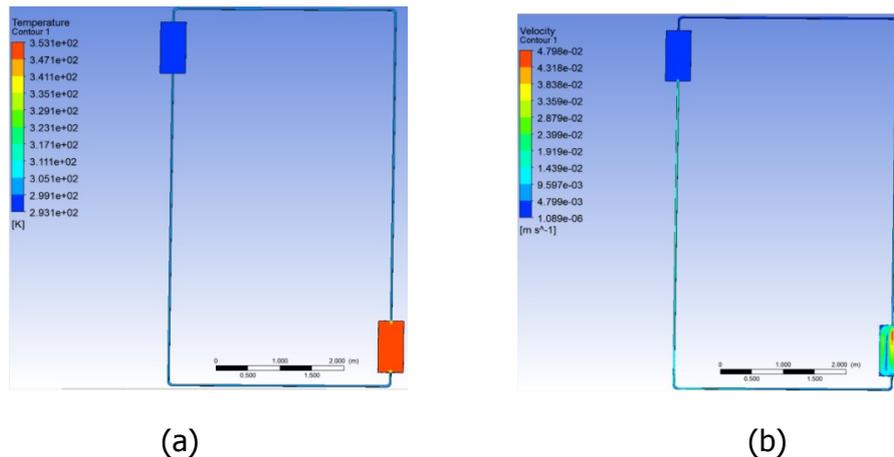
Gambar 2. Hasil simulasi (a) persebaran temperatur dan (b) persebaran laju aliran Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop pada variasi temperatur *water cooling tank* 5 °C.



Gambar 3. Hasil simulasi (a) persebaran temperatur dan (b) persebaran laju aliran Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop pada variasi temperatur *water cooling tank* 10 °C.



Gambar 4. Hasil simulasi (a) persebaran temperatur dan (b) persebaran laju aliran Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop pada variasi temperatur *water cooling tank* 15 °C.



Gambar 5. Hasil simulasi (a) persebaran temperatur dan (b) persebaran laju aliran Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop pada variasi temperatur *water cooling tank* 20 °C.

Dilihat pada gambar 7 sampai gambar 10 bagian (a), terjadi perbedaan perubahan persebaran temperatur pada masing-masing variasi temperatur *water cooling tank*. Terlihat pada bagian *outlet water cooling tank*, semakin tinggi variasi temperatur yang diberikan, maka temperatur aliran fluida kerja yang keluar akan semakin rendah. Hal ini ditunjukkan dari warna biru di *section pipes* Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop yang akan berwarna semakin gelap ketika variasi temperatur *water cooling tank* dinaikkan. Lalu variasi temperatur ini juga mempengaruhi persebaran laju aliran fluida kerja pada Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop. Hal ini dapat dilihat juga dari perubahan warna pada gambar ketika arah aliran menuju *inlet water cooling tank*. Pada variasi temperatur 5 °C, warna pada gambar aliran menuju *inlet water cooling tank* adalah warna biru muda, namun ketika variasi temperatur *water cooling tank* dinaikkan maka warnanya berubah menjadi biru yang lebih gelap. Data kuantitatif dari hasil simulasi disajikan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data simulasi persebaran temperatur dan laju aliran Untai FASSIP-01 Mod.2 Loop.

Temperatur <i>water heating tank</i> (°C)	Temperatur <i>water cooling tank</i> (°C)	Persebaran temperatur (°C)		Persebaran laju aliran (m/s)	
		Min	Max	Min	Max
80	5	27	50	0,0000011	0,0104
	10	24	52	0,000002	0,012
	15	22	54	0,0000031	0,013
	20	26	56	0,0000011	0,014

Data hasil simulasi yang diambil akan difokuskan pada bagian *section pipes* karena karakteristik fluida kerja yang mengalir dalam *section pipes* tersebut yang menjadi fokus penelitian. Dari data simulasi yang didapat, diketahui bahwa data terkecil dari persebaran temperatur adalah 22 °C pada variasi temperatur *water cooling tank* 15 °C dan data terbesar adalah 56 °C pada variasi temperatur *water cooling tank* 20 °C, sedangkan data terkecil untuk persebaran laju aliran adalah 0,0000011 m/s pada variasi temperatur *water cooling tank* 5 °C dan data terbesar adalah 0,014 m/s pada variasi temperatur *water cooling tank* 20 °C. Data maksimal (max) dari simulasi menunjukkan *trend data* yang meningkat ketika

variasi temperatur *water cooling tank* dinaikkan, namun data minimum (min) menunjukkan pergerakan yang fluktuatif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan tabel 2 dari hasil simulasi diketahui bahwa laju aliran yang baik adalah ketika variasi temperatur *water cooling tank* berada pada 15 °C. Meskipun laju aliran maksimal (max) terbesar ada pada variasi temperatur 20 °C yaitu sebesar 0,014 m/s, namun laju aliran minimal (min) pada variasi temperatur 15 °C adalah yang paling besar yaitu sebesar 0,0000031 m/s. Tetapi persebaran temperatur pada variasi temperatur *WCT* di 15 °C terbilang tidak sebaik pada variasi temperatur *WCT* di 20 °C, karena berdasarkan teori seharusnya pada temperatur tersebut laju aliran akan lebih baik dibanding saat temperatur 15°C. Hal ini harus divalidasi menggunakan eksperimen untuk lebih jelasnya, tetapi akan lebih baik lagi jika ada penelitian dengan simulasi menggunakan desain 3 dimensi dari FASSIP-01 mod.2 ataupun simulasi dengan *software* yang berbeda untuk memberikan gambaran dari sudut pandang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih atas dukungan Riset Inovatif Produktif (RISPRO) LPDP Mandatori PRN PLTN yang telah mendanai penelitian ini dengan nomor kontrak 3/E1/III/PRN/2021 untuk tahun anggaran 2021. Terima kasih kepada Kepala Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PRTKRN) ORTN BRIN atas dukungannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Butt, H. N., Ilyas, M., Ahmad, M., & Aydogan, F. (2016). Assessment of passive safety system of a Small Modular Reactor (SMR). *Annals of Nuclear Energy*, *98*, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.07.018>
- Juarsa, M., Giarno, Rohman, A. N., Heru K., G. B., Witoko, J. P., & Tjahyani, D. T. S. (2018). Flow rate and temperature characteristics in steady state condition on *FASSIP-01 loop* during commissioning. *Journal of Physics: Conference Series*, *962*, 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/962/1/012021>
- Lai, K., Wang, W., Yi, C., Kuang, Y., & Ye, C. (2018). The study of passive cooling system assisted with separate heat pipe for decay heat removal in spent fuel pool. *Annals of Nuclear Energy*, *111*, 523–535. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.08.062>
- Lesmana, R. S., Juarsa, M., & Waskita, A. A. (2019). Model Analisis Numerik pada Sirkulasi Alam Fasa-Tunggal di Untai Rektangular FASSIP-01 MOD.1 Berdasarkan Posisi Heater. *SIGMA EPSILON - Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, *23*(2), 70. <https://doi.org/10.17146/sigma.2019.23.2.5670>
- Lv, X., Peng, M., Yuan, X., & Xia, G. (2016). Design and analysis of a new passive residual heat removal system. *Nuclear Engineering and Design*, *303*, 192–202. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2016.03.020>

- Marcel, C. P., Rohde, M., & Van Der Hagen, T. H. J. J. (2017). An experimental parametric study on natural circulation BWRs stability. *Nuclear Engineering and Design*, 318, 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.04.020>
- Noufal, M., Prasetyo, J., Haryanto, D., & Juarsa, M. (2015). *ANALISIS UNJUK KERJA PEMANAS DAN PENDINGIN DI UNTAI FASILITAS SIMULASI SISTEM PASIF*. 2, 10.
- Putra, T. H., Giarno, G., Hatmoko, S., Heru K, G. B., & Juarsa, M. (2019). Analisis Deviasi Alat Ukur Laju Aliran pada Untai FASSIP-01 dan FASSIP-02. *SIGMA EPSILON - Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, 23(2), 91. <https://doi.org/10.17146/sigma.2019.23.2.5682>
- Rinaldi, A., Gabriella N, L., Giarno, G., Prasetyo, J., & Juarsa, M. (2019). Estimasi Laju Aliran Sirkulasi Alam Berdasarkan Beda Temperatur pada Untai FASSIP-01. *SIGMA EPSILON - Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, 23(2), 58. <https://doi.org/10.17146/sigma.2019.23.2.5669>
- Wicaksono, Y. A., . S., & Suffiadi Akhmad, N. (2020). Simulasi CFD Pengaruh Konsentrasi Nanofluida Al₂O₃/Air Terhadap Performa Perpindahan Panas Pipa Radiator. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 13(2), 54. <https://doi.org/10.24843/JEM.2020.v13.i02.p02>
- Yu, S., Wang, J., Yan, M., Yan, C., & Cao, X. (2017). Experimental and numerical study on single-phase flow characteristics of natural circulation system with heated narrow rectangular channel under rolling motion condition. *Annals of Nuclear Energy*, 103, 97–113. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.01.008>
-

Pertanyaan :

Perbedaan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada sistem FASSIP versi sebelumnya?

Jawab :

Data yang dihasilkan secara eksperimen belum ada untuk saat ini, namun jika dilakukan secara perhitungan, menghasilkan kesimpulan yang lebih baik jika dibandingkan dengan versi sebelumnya.