



Karakteristik Temperatur Tangki Pemanas dan Bilangan Reynolds Selama Aliran Sirkulasi Alam pada Untai Uji FASSIP-02

ANDREA SHEVALADZE A. A^{1, a)}, GIARNO²⁾, ADHIKA ENGGGAR²⁾,
DEDY HARYANTO²⁾, AINUR ROSIDI²⁾, G.B. HERU K.²⁾,
ADEK TASRI¹⁾, MULYA JUARSA^{2, b)}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas,

² Grup 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).

^aKoresponde email: andrea.alamin83@gmail.com

^bKoresponden email: juars@batan.go.id

ABSTRAK

Untai Uji FASSIP-02 merupakan fasilitas sistem pendingin pasif yang menggunakan prinsip sirkulasi alam. Salah satu bagian pada Untai Uji FASSIP-02 adalah Water Heating Tank (WHT) yang memiliki empat buah pemanas sebagai sumber kalor. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi perubahan temperatur air dalam tangki pemanas, yang terbagi dalam kondisi pemanasan transien dan tunak juga memperoleh bilangan Reynolds. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi setting temperatur air dalam tangki pemanas sebesar 40°C, 50°C, dan 60°C. Hasil penelitian menunjukkan setting temperatur 40°C lama waktu pemanasan transien adalah 1422 detik, pada 50°C adalah 2327 detik, dan 60°C adalah 3249 detik. Sedangkan perbedaan temperatur air antara bagian pipa masuk dan pipa keluar dari tangki pemanas menunjukkan semakin besarnya temperatur air dalam tangki pemanas maka semakin besar pula perbedaannya. Sedangkan peningkatan temperatur air berbanding lurus dengan peningkatan bilangan Reynolds, dimana mulai temperatur 50°C aliran masuk ke rejim turbulen rentang 5191 dan 7286.

Kata kunci: FASSIP-02, tangki pemanas, sirkulasi alam, bilangan Reynolds, pendingin pasif.

ABSTRACT

The FASSIP-02 Test Strand is a passive cooling system facility that uses the natural circulation principle. One part of the FASSIP-02 Test Strand is the Water Heating Tank (WHT) which has four heaters as heat sources. This study aims to characterize the change in water temperature in the heating tank, which is divided into transient and steady heating conditions and also obtains Reynolds number. The research method was carried out experimentally with variations in the water temperature setting in the heating tank of 40°C, 50°C, and 60°C. The results showed that setting a temperature of 40°C, the transient heating time was 1422 seconds, at 50°C it was 2327 seconds, and at 60°C was 3249 seconds. While the difference in water temperature between the inlet pipe and the outlet pipe from the heating tank shows the greater the water temperature in the heating tank, the greater the temperature difference. Meanwhile, the increase in water temperature is directly proportional to the increase in Reynolds number, where starting at a temperature of 50°C the inflow to the turbulent regime ranges from 5191 and 7286.

Keywords: FASSIP-02, heating tank, natural circulation, Reynolds number, passive cooling.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan PLTN di Indonesia masih sulit untuk direalisasikan karena adanya pro kontra yang terjadi di masyarakat. **(Harjanto, 2008)** Karena banyaknya dalam pemikiran masyarakat ketakutan akan dampak yang ditimbulkan apabila terjadinya kecelakaan nuklir tersebut, seperti halnya yang terjadi pada Fukushima Daiichi pada tahun 2011 akibat gempa sebesar 9 Skala Richter (SR) dan tsunami setinggi 14-15 meter. Tsunami tersebut merendam ruangan generator sehingga stasiun operator kehilangan sumber daya secara total atau *station black out* (SBO), Sehingga menghentikan terjadinya proses pendinginan teras reaktor hingga terjadinya pelelehan teras reaktor. Kondisi tersebut memicu terlepasnya material radioaktif ke lingkungan setelah terjadinya ledakan gas Hidrogen yang diakibatkan kelongsong (*cladding*) bahan bakar gosong (*burn-out*) dan bereaksi dengan air sehingga membentuk gas Hidrogen lalu gas Hidrogen tersebut bereaksi dengan Oksigen dan menimbulkan ledakan. **(Antariksawan & Juarsa, 2018) (Samet & Chanson, 2015)**

Akibat terjadinya kecelakaan yang terjadi pada Fukushima yang disebabkan kegagalan pada sistem pendinginan aktif, sehingga peneliti di seluruh dunia melakukan penelitian mengenai sistem pendingin pasif (*passive cooling system*) agar dapat melakukan pendinginan panas sisa peluruhan (*decay heat*) saat SBO terjadi. **(Rinaldi et al., 2019)** Konsep dari sistem pasif yaitu di mana aliran fluida terjadi tanpa adanya energi yang berasal dari luar, dan aliran fluida terjadi karena adanya perbedaan densitas. **(Juarsa, Witoko, et al., 2018)** Pengaruh perubahan densitas fluida di daerah panas akan menimbulkan gaya apung dan pengaruh perubahan densitas fluida di daerah dingin akan menyebabkan perubahan gaya gravitasi. Dengan demikian, penerapan sistem pasif pada PLTN dapat digunakan baik untuk kondisi normal maupun tidak normal (kecelakaan, transien). **(Mylonakis et al., 2014)**

Sistem pendingin pasif telah banyak digunakan di seluruh dunia seperti HPR1000 **(Xing et al., 2016)** yang dikembangkan oleh Cina pada jenis pressurized water reactor, juga terdapat AP1000 yang dikembangkan di Amerika dan Cina dan sudah disertifikasi oleh *U.S Nuclear Regulatory Commission* (USNRC), **(Sutharshan et al., 2011)** dan SMART dengan jenis *Small Modular Reactor* (SMR) yang dikembangkan oleh *Korean Atomic Energy Research Institute* (KAERI). **(Min et al., 2014)** Dan salah satu fasilitas yang menggunakan sistem pendingin pasif yang telah dan sedang dikembangkan di Pusat Riset dan Teknologi Nuklir, Keselamatan dan Keamanan Nuklir (PRTRKKN) adalah Untai Uji FASSIP-02 **(Antariksawan et al., 2018) (Juarsa, Antariksawan, et al., 2018)**.

Untai Uji FASSIP_02 terdiri dari 3 komponen penting yaitu tangki pemanas (WHT, *water heating tank*), tangki pendingin (WCT, *water cooling tank*), dan juga pemipaan. Penelitian yang difokuskan pada tangki pemanas dengan tujuan dapat memperoleh karakteristik dari temperatur yang terjadi pada tangki pemanas berdasarkan variasi *setting* temperatur awal air selama pemanasan transien, tunak, dan pendinginan transien.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian dilakukan secara berulang-ulang untuk mendapatkan komperasi nilai laju aliran pada setiap pengambilan data pada temperatur *setting* yang sama. Untuk mendapatkan laju aliran dapat dihitung menggunakan persamaan (1), dan kemudian data yang digunakan adalah data yang memiliki laju aliran mendekati nilai dari laju aliran sebenarnya.

$$N_{Re} = \frac{\rho DV}{\mu} \quad (1)$$

Di mana ρ adalah kerapatan (densitas) fluida (kg/m^3), D adalah diameter pipa (m), V adalah kecepatan fluida di dalam pipa (m/detik), dan μ adalah nilai viskositas (Pa). Untuk mendapatkan nilai dari kerapatan fluida dapat dicari menggunakan persamaan (2) dan untuk nilai viskositas dapat menggunakan persamaan (3), **(C. Allen, 1993)** Sebagai berikut:

$$\rho = (A + BT_F + CT_F^2) \quad (2)$$

Di mana, ρ adalah massa jenis [kg/m^3], A bernilai 1004,789042, B bernilai -0,046283, C bernilai $-7,9738 \times 10^{-4}$, dan T_F adalah $1.8T + 32$.

$$\mu = \exp[(A + CT)/(1 + BT + DT^2)] \quad (3)$$

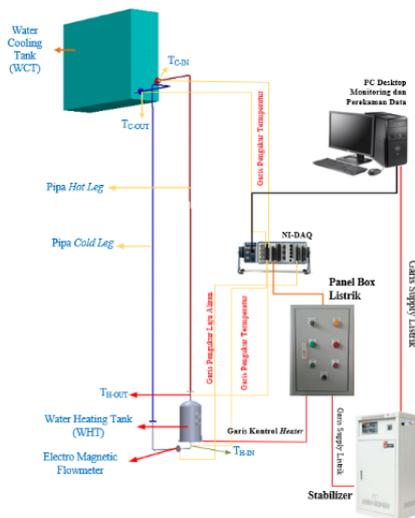
Di mana, μ adalah Viskositas [Pa], T adalah Temperatur [$^{\circ}\text{C}$], A bernilai -6,325203964, B bernilai $8,705317 \times 10^{-3}$, C bernilai -0,088832314, dan D bernilai $-9,657 \times 10^{-7}$.

3. METODOLOGI

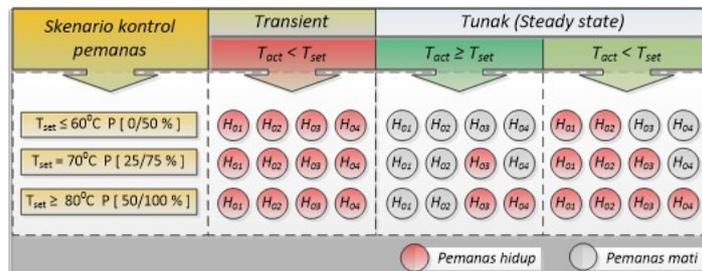
a. Skema Alat

Bagian pada Untai Uji FASSIP-02, di antaranya bagian tangki pemanas disebut *Water Heating Tank* (WHT), tangki pendingin atau *Water Cooling Tank* (WCT), dan pipa penukar panas (*Heat exchanger*) *U-Shape* yang terletak pada WHT. Terdapat 18 titik termokopel yang terpasang pada keseluruhan Untai Uji FASSIP-02, yang di mana seluruh termokopel terhubung pada NI 9214 yang terpasang pada NI DAQ 9188. Dan kemudian dihubungkan ke komputer menggunakan LAN untuk melakukan pengamatan dan perekaman data hasil penelitian. Untuk sistem kelistrikan seluruhnya diambil dari stabilizer guna menghindari lonjakan listrik yang mengakibatkan terganggunya proses perekaman data. Skema secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

Fokus penelitian kali ini adalah tangki pemanas, yang di mana terdapat enam buah titik termokopel yang mewakili keseluruhan pengamatan temperatur pada permukaan tangki pemanas dan temperatur air dalam tangki pemanas, dan empat buah pemanas yang memiliki total daya sebesar 20 kW. Pemanas yang digunakan terhubung kepada *solid state relay* (SSR) sehingga dapat mengatur kontak listrik dengan pemanas. Karena pada saat air temperatur air dalam WHT telah mencapai temperatur *setting* maka pemanas akan bekerja sesuai skema pemanas yang telah diatur sehingga temperatur air dalam WHT tetap berada dalam temperatur *setting*. Model kendali *heater* berdasarkan *setting* temperatur WHT terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Untai Uji FASSIP-02



Gambar 2. Model kendali heater berdasarkan setting temperatur WHT (Heru et al., 2019)

Pada Gambar 2 merupakan skenario pengontrolan daya pemanas berdasarkan temperatur *setting*, di mana terbagi atas $T_{Set} \leq 60^{\circ}\text{C}$, $T_{Set} = 70^{\circ}\text{C}$, $T_{Set} \geq 80^{\circ}\text{C}$. Untuk penelitian kali ini fokus yang diamati untuk skenario $T_{Set} \leq 60^{\circ}\text{C}$, yang pada saat kondisi transien seluruh pemanas menyala. Ketika telah sampai pada kondisi tunak yang terbagi atas 2 kondisi, yaitu $T_{aktual} \geq T_{Set}$ maka seluruh pemanas akan mati, dan ketika temperatur kembali turun yang artinya $T_{aktual} < T_{Set}$ dua buah temperatur akan menyala untuk meningkatkan kembali temperatur air dalam WHT.

b. Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan secara bertahap, di mana setiap temperatur setting dilakukan beberapa kali pengambilan data. Dari data yang didapatkan akan dilakukan perhitungan laju aliran fluida, kemudian data yang memiliki laju aliran yang mendekati nilai yang sebenarnya akan dilihat karakteristik temperaturnya menggunakan grafik dengan menggunakan *software* Origin8.

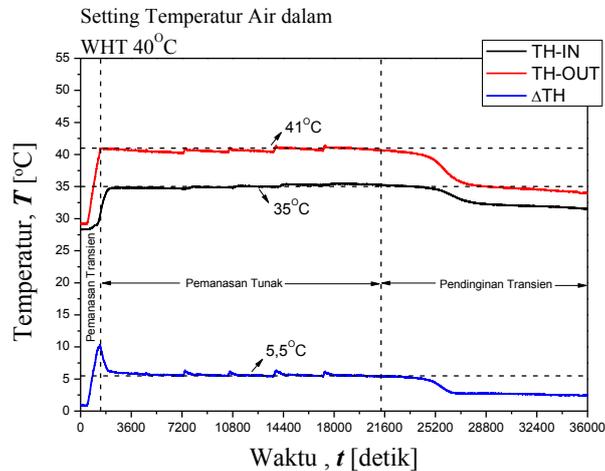
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Temperatur Air di Tangki Pemanas

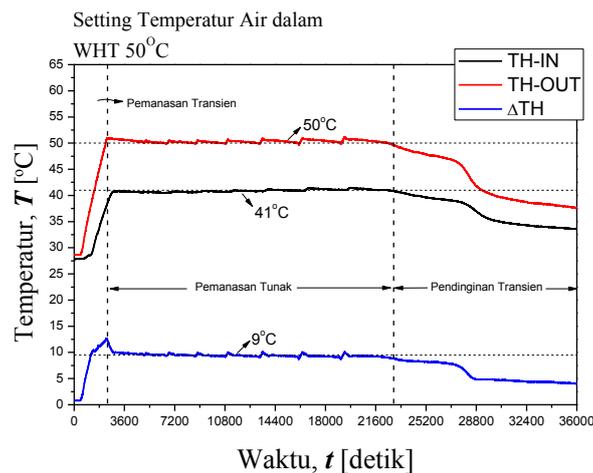
Setelah diperoleh data eksperimen, kemudian menentukan data yang digunakan, untuk analisis dan karakteristik temperatur terhadap setiap variasi setting temperatur. Karakteristik temperatur berdasarkan variasi setting temperatur 40°C , 50°C , dan 60°C dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5, di mana

Karakteristik Termal Tangki Pemanas Berdasarkan setting Temperatur Awal pada Sirkulasi Alam Menggunakan Untai Uji FASSIP-02

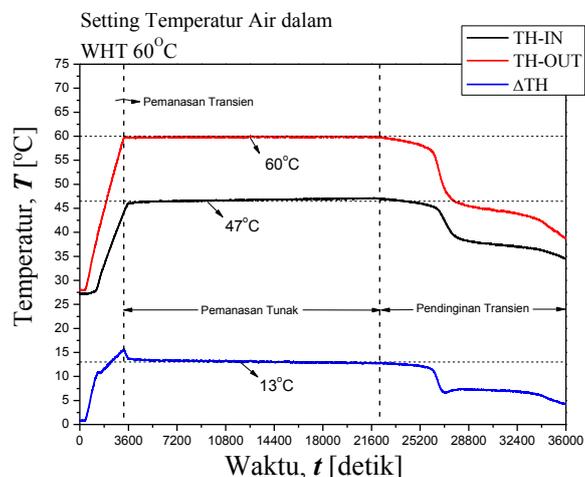
setiap grafik menampilkan perubahan temperatur selama proses pemanasan transien, pemanasan tunak selama 5 jam, dan pendinginan transien. Setiap grafik menunjukkan 3 garis yang merepresentasikan data untuk temperatur air dalam pipa masuk ke *WHT* (TH-In), Temperatur air dalam pipa keluar dari *WHT* (TH-Out), dan data selisih temperatur antara TH-In dan TH-Out.



Gambar 3. Karakteristik temperatur 40°C

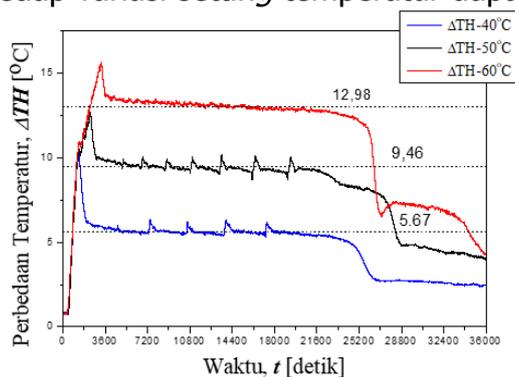


Gambar 4. Karakteristik temperatur 50°C



Gambar 5. Karakteristik temperatur 60°C

Hasil pengamatan yang dilakukan terhadap temperatur 40°C, nilai rata-rata dari TH-Out pada kondisi tunak memiliki nilai sebesar 41°C, sedangkan pada temperatur *setting* 50°C dan 60°C memiliki rata-rata nilai TH-Out sama dengan temperatur *setting*. Hal ini karena pada temperatur *setting* 40°C lebih cepat terjadi peningkatan temperatur akibat adanya panas sisa yang dihasilkan oleh pemanas, sehingga temperaturnya lebih tinggi dibanding temperatur *setting*. Selanjutnya, untuk temperatur TH-In mengalami kenaikan setiap kenaikan temperatur *setting*. Hal ini karena temperatur yang terjadi semakin besar, namun kalor yang keluar tetap sama mengakibatkan temperatur air dalam pipa masuk ke WHT meningkat. Untuk perbedaan temperatur setiap variasi *setting* temperatur dapat dilihat pada Gambar 6.



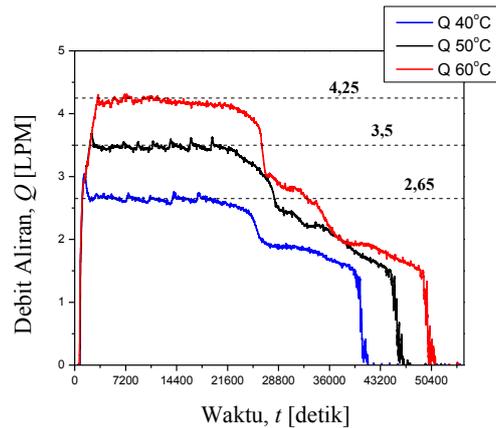
Gambar 6. Perbedaan temperatur setiap temperatur setting

Berdasarkan Gambar 6 perbedaan temperatur pada temperatur 60 °C, 50 °C dan 40 °C adalah 12,98 °C, 9,46 °C dan 5,67 °C secara berurut. Semakin tinggi temperatur, semakin tinggi pula perbedaan temperatur yang dihitung berdasarkan TH-In dan TH-Out. Dapat dilihat dari ketiga garis tersebut semakin tinggi temperatur semakin sering terjadinya fluktuasinya. Fluktuasi terjadi akibat kendali pemanas untuk mempertahankan temperatur air dalam WHT tetap dalam temperatur *setting*. Fluktuasi yang terjadi pada temperatur 40°C cenderung lebih besar dipengaruhi oleh besarnya temperatur pada TH-Out, di mana temperatur TH-Out melebihi temperatur *setting* sehingga membutuhkan lebih banyak waktu untuk pemanas hidup kembali meningkatkan temperatur air dalam WHT kembali.

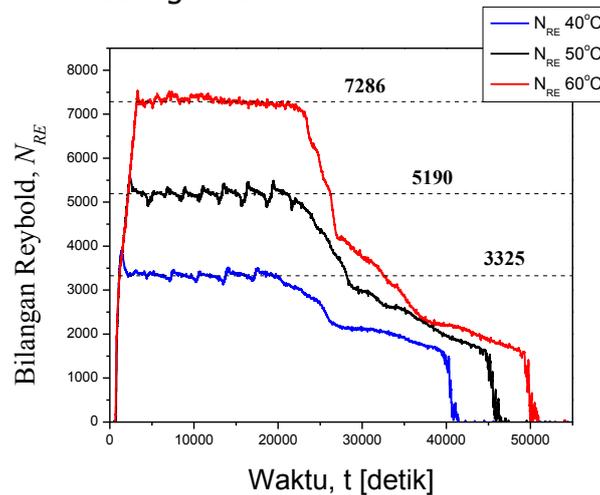
4.2. Bilangan Reynolds Selama Aliran Sirkulasi Alam

Selama eksperimen berlangsung, baik dalam kondisi pemanasan transien, tunak dan pendinginan transien selai data perubahan temperatur, laju aliran sirkulasi alam juga diukur menggunakan magnetic flowmeter dalam satuan liter per-menit (LPM) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Karakteristik Termal Tangki Pemanas Berdasarkan setting Temperatur Awal pada Sirkulasi Alam Menggunakan Untai Uji FASSIP-02



Gambar 7. Data debit aliran sirkulasi alam untuk 3 variasi *setting* temperatur Kemudian debit aliran sirkulasi alam dikonversi ke bentuk kecepatan aliran, yang kemudian digunakan untuk menghitung bilangan Reynolds. Perhitungan bilangan Reynolds didasarkan pada nilai dari laju aliran fluida untuk setiap temperatur *setting*, sehingga dapat ditentukan data yang akan digunakan adalah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8. Bilangan Reynold

Dapat dilihat pada Gambar 8 yang merupakan penggambaran aliran fluida dari setiap temperatur *setting*. Di mana diliahat saat kondisi tunak pada temperatur 40°C memiliki rata-rata aliran fluida sebesar 3325, pada 50°C sebesar 5191, dan pada 60°C memiliki nilai aliran fluida sebesar 7286. Berdasarkan jenis aliran fluida terhadap bilangan reynold, untuk nilai aliran laminar memiliki nilai $Re < 2100$, untuk aliran transisi memiliki rentang nilai $2100 \leq Re < 4100$, dan untuk aliran turbulen memiliki nilai $Re > 4100$. Maka, pada saat 40°C memiliki jenis aliran transisi, sedangkan untuk temperatur 50°C dan 60°C mencapai aliran turbulen. Hal ini disebabkan terjadi perubahan kesetimbangan energi, di mana saat temperatur air di tangka pemanas semakin naik, maka jumlah konversi energi termal yang digunakan untuk menghasilkan gaya apung (*buoyancy*) semakin besar. Sehingga, kecepatan aliran sirkulasi alam meningkat dan memiliki rejim aliran turbulen tanpa adanya pompa pendorong sama-sekali.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan terhadap karakteristik temperatur berdasarkan variasi setting temperatur, dapat disimpulkan bahwa pada grafik terdapat fluktuasi yang terjadi pada garis TH-Out. Hal ini terjadi akibat adanya kendali pemanas untuk menjaga temperatur air dalam

WHT tetap pada temperatur *setting*. Selanjutnya terjadi perbedaan temperatur antara TH-Out dan TH-In, perbedaan temperatur inilah yang mengakibatkan adanya aliran dalam sirkulasi alam. Dan pada penelitian kali ini perbedaan temperatur yang terjadi pada temperatur 40°C, 50°C, dan 60°C adalah 5,67°C, 9,46°C, dan 12,98°C secara berurut. Sedangkan peningkatan *setting* temperatur air pada tangka pemanas diikuti oleh peningkatan bilangan Reynolds, di mana mulai temperatur 50°C aliran masuk ke rejim turbulen rentang 5191 dan 7286.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

DAFTAR RUJUKAN

- Antariksawan, A. R., & Juarsa, M. (2018). Keselamatan Raktor Nuklir: Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelkaan Parah. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Antariksawan, A. R., Juarsa, M., Haryanto, D., Kusuma, M. H., & Putra, N. (2018). *Simulation Of Operational Conditions Of Fassip-02 Natural Circulation Cooling System Experimental Loop*. 1287, 1–26.
- C. Allen. (1993). *Thermophysical Properties of Saturated Light and Heavy Water for Advanced Neutron Source Applications*. 25–29.
- Harjanto, N. T. (2008). Dampak lingkungan pusat listrik tenaga fosil dan prospek pltn sebagai sumber energi listrik nasional . *Jurnal BATAN*, 1(1), 39–50.
- Heru, B., Giarno, Haryanto, D., Juarsa, M., & A, A. (2019). Pengembangan Sistem Kontrol Pemanas pada FASSIP-02 Mod.1 berbasis LabVIEW. In *Seminar Nasional Energi Telekomunikasi dan Otomasi*.
- 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. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012091>
- Juarsa, M., Witoko, J. P., Giarno, Haryanto, D., & Purba, J. H. (2018). An experimental analysis on Nusselt number of natural circulation flow in transient conditions based on the height differences between heater and cooler. *Atom Indonesia*, 44(3), 123–130. <https://doi.org/10.17146/aij.2018.876>
- Min, B. Y., Park, H. S., Shin, Y. C., & Yi, S. J. (2014). Experimental verification on the integrity and performance of the passive residual heat removal system for a SMART design with VISTA-ITL. *Annals of Nuclear Energy*, 71, 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.03.001>
- Mylonakis, A. G., Varvayanni, M., Catsaros, N., Savva, P., & Grigoriadis, D. G. E. (2014). Multi-physics and multi-scale methods used in nuclear reactor analysis. *Annals of Nuclear Energy*, 72, 104–119. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.05.002>
- 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>
- Samet, J. M., & Chanson, D. (2015). *Fukushima Daiichi Power Plant Disaster*. 51.
- Sutharshan, B., Mutyala, M., Vijuk, R. P., & Mishra, A. (2011). The AP1000™ reactor: Passive safety and modular design. *Energy Procedia*, 7, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.06.038>

Karakteristik Termal Tangki Pemanas Berdasarkan setting Temperatur Awal pada Sirkulasi Alam
Menggunakan Untai Uji FASSIP-02

Xing, J., Song, D., & Wu, Y. (2016). HPR1000: Advanced Pressurized Water Reactor with Active and Passive Safety. *Engineering*, 2(1), 79–87.
<https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.01.017>

Pertanyaan :

Apakah jenis perangkat pengendali yang digunakan pada sistem ini?

Jawab :

NI CDAQ9188 dari National Instrument yang digunakan sebagai controller pada sistem ini.