

Investigasi laju aliran massa sirkulasi alami dalam pipa penukar kalor pada tangki pendingin untai Uji FASSIP-02 Ver.1

Yeni Anggraini^{a,1}, Dwi Yulijaji^{ac}, Roy Waluyo^{ac}, Putut Hery Setyawan^c, Sri Ismayanti^b, Esa Putra^c, Ryan Oktaviandi^{ac}, Prya Moniaga^d, Shendy Akbar Maryadi^a, Mulya Juarsa^{ab,2*}

^aEngineering Development for Energy Conversion and 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, Jawa Barat

^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

^dDepartemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok

langgarini2887@gmail.com

²mulya.juarsa@brin.go.id (corresponding author)

ABSTRACT

Without the intervention of external forces, natural circulation occurs due to buoyancy and frictional resistance forces. The magnitude of the mass flow rate is essential for analyzing internal energy changes and the formed flow regime. Thus, the research aimed to obtain the characteristics of the mass flow rate value and the Reynolds number in natural circulating flow in the heat exchanger pipe in the cooling tank. The research was done experimentally by changing the initial conditions of the water temperature setting in the heating tank section with variations of 50°C, 60°C, and 70°C. The experiment was carried out for 22 hours. The data recording process used a data acquisition system with a sampling rate of one data per second, and data collection focused on changes in Temperature at the inlet and outlet of the heat exchanger pipes in the cooling tank, in addition to changes in the volumetric flow rate using an electromagnetic flowmeter recorded. The mass flow rate value is affected by Temperature differences based on measured natural circulation flow data, so the higher the water temperature setting inside the WHT, the higher the average natural circulation mass flow rate at steady state occurred from 0.05348 kg/s to 0.07890 kg/s. The analysis results show that the temperature differences between the WCT and WHT sections determine the natural circulation flow.

Keywords: Natural circulation, FASSIP-02 Ver.1, WCT, flow rate, WHT, heat exchanger

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

PENDAHULUAN

Kegagalan sistem pendingin aktif pada kecelakaan PLTN Fukushima Daiichi, Jepang menjadi issue yang penting dalam pengembangan sistem keselamatan PLTN masa depan, khususnya inovasi pada manajemen termal PLTN [1]. Penggunaan pompa sirkulasi saat terjadinya kecelakaan sebagai sistem pendingin aktif mulai ditambahkan dengan model sirkulasi air pendingin tanpa intervensi daya atau gaya dari luar dengan menambahkan sistem perpipaan pendingin yang mampu memindahkan kalor tanpa kehadiran pompa sirkulasi. Sistem pendingin tersebut disebut sistem pendingin pasif, dimana sirkulasi air di dalam perpipaan bekerja

berdasarkan prinsip hukum alami, yaitu aliran sirkulasi alami [2] [3].

Di Indonesia, suatu fasilitas eksperimen baru yang disebut Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP) telah dikembangkan sebagai bagian dari penelitian dan pengembangan sistem pendingin pasif. FASSIP dirancang untuk mensimulasikan sistem pendingin pasif di dalam reaktor dengan sirkulasi alami. Sirkulasi alami sebagai filosofi dasar untuk teknologi memanfaatkan pengambilan sisa kalor akibat kecelakaan pada reaktor nuklir. Kelebihan kalor tersebut akan didinginkan menggunakan prinsip sirkulasi alami (natural circulation) sehingga mencegah terjadinya pelelehan teras reaktor [4]. Penelitian Juarsa, et.al. 2014 menunjukkan bahwa konsep sistem pasif sirkulasi fluida tidak dipengaruhi oleh gaya dari luar dan intervensi dari luar [5]. Kemudian hasil penelitian Juarsa, et.al 2014

diperkuat oleh penelitian oleh Antariksawan, et.al. 2018, bahwa proses sirkulasi alami terjadi akibat adanya perbedaan densitas air berdasarkan kenaikan temperatur air yang disebabkan oleh pemanasan pada tangki pemanas. Air ber-temperatur lebih tinggi memiliki densitas lebih rendah sehingga menyebabkan air bergerak ke atas akibat adanya gaya apung (buoyancy force). Sedangkan pada tangki pendingin, air mengalami penurunan temperatur dan densitasnya menjadi besar, dimana hal ini mengakibatkan gaya gesek hambatan (retarding frictional force). Kombinasi kedua gaya tersebut menyebabkan terjadinya fenomena sirkulasi alami [6].

Sistem pendingin darurat dengan sirkulasi alami dirancang untuk menjaga pendinginan selama 72 jam. Estimasi perhitungan kalor, laju aliran kalor, dan waktu penguapan air pada tangki pendingin (WCT) dilakukan sebagai bagian dari desain sistem ini. PTKRN BATAN (Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional) sudah mengembangkan penelitian mengenai sistem pendingin pasif tersebut. Sistem tersebut dinamai dengan Untai FASSIP-02 [2] [7] [8]. Saat ini RTFSyDev.RG (Reactor Thermal-Fluids Sistem Development Research Group) Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN) Organisasi Riset Teknologi Nuklir (ORTN) Badan Riset dan Inovatif Nasional (BRIN) melakukan pembaharuan dari untai Pre-FASSIP-02 dan Untai Uji FASSIP-02 yakni Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1.

Perubahan parameter dari pembaharuan Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1 ada pada boundary condition berupa perubahan total panjang perpipaian (L total), diameter pipa (D), dan beda ketinggian antara outlet pemanas dan inlet pendingin (H). Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1 terdiri dari dua komponen besar yaitu Tangki Pemanas (WHT, water heating tank) dan Tangki Pendingin (WCT, water cooling tank) dimana kedua komponen tersebut memiliki peranan penting untuk terjadinya proses aliran sirkulasi alami. Komponen tangki pendingin merupakan bagian yang berfungsi untuk menyerap kalor dari untai uji FASSIP-02 Ver. 1 dimana temperatur air mengalami penurunan. Penurunan air pada tangki pendingin sangat dipengaruhi oleh perbedaan temperatur air dalam pipa dan temperatur air di dalam tangki pendingin, termasuk laju aliran massa sirkulasi alami yang terbentuk. Sehingga tujuan penelitian adalah untuk melakukan

analisis Laju Aliran Massa Pipa *Heat exchanger* Pada Tangki Pendingin FASSIP-02 Ver.1.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1

Untai uji FASSIP-02 Ver. 1 merupakan salah satu fasilitas uji sistem pendingin pasif yang menggunakan prinsip sirkulasi alami. Untai uji FASSIP-02 dibangun pada tahun 2016 dan terus melakukan perkembangan dan kini sudah pada Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1 dengan pembaharuan ada pada boundary condition berupa perubahan total panjang perpipaian (L total), diameter pipa (D), dan beda ketinggian antara outlet pemanas dan inlet pendingin (H). Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1 terdiri dari dua komponen besar yaitu Tangki Pemanas (WHT, water heating tank) dan Tangki Pendingin (WCT, water cooling tank) dimana kedua komponen tersebut memiliki peranan penting untuk terjadinya proses aliran sirkulasi alami. Visualisasi gambar Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1 ditunjukkan pada **Gambar 1**.

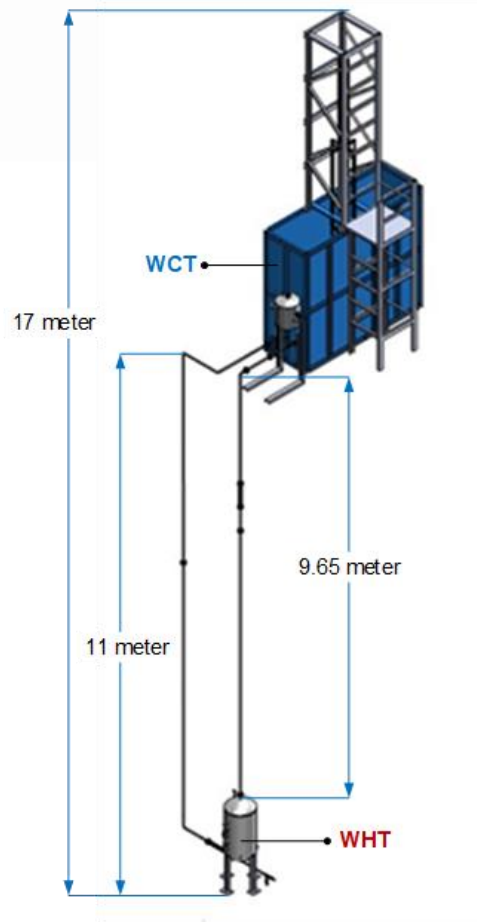
2. Setup Eksperimen

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan analisis menggunakan alat FASSIP-02 Ver. 1 pada kondisi setting temperatur air bagian pemanas dengan variasi dari 50 °C, 60 °C dan 70 °C. Berikut merupakan skema aliran yang terdapat pada untai uji FASSIP-02 Ver. 1 dapat dilihat pada **Gambar 2**.

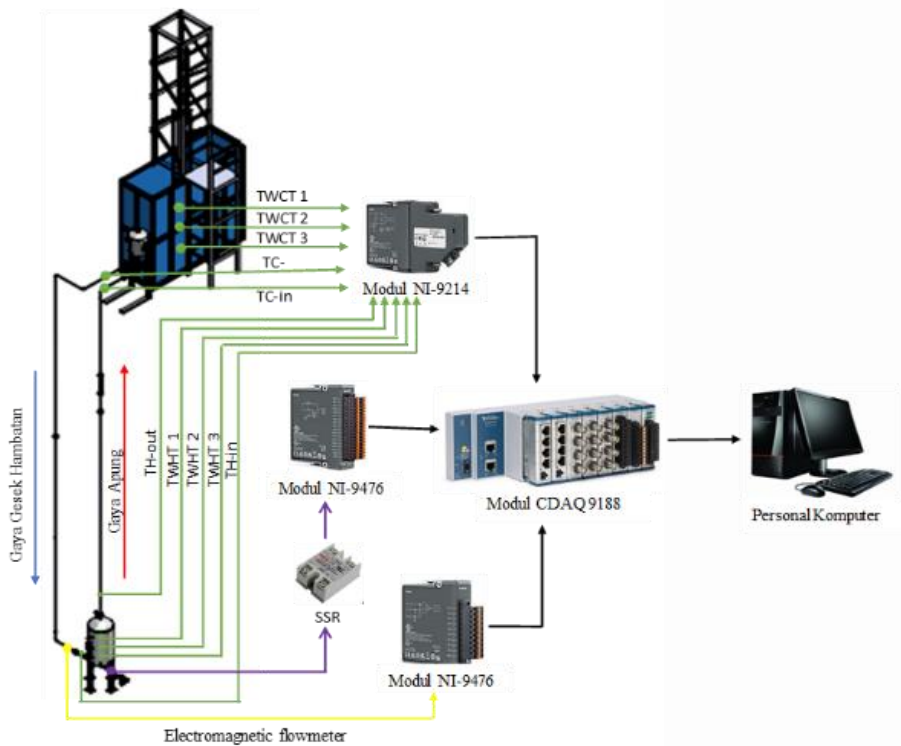
Semua pengukuran dilakukan selama 22 jam menggunakan sistem akuisisi data instrumentasi nasional menggunakan Chasis NI-cDAQ dengan sampling rate 1 data per detik di tampilkan dan dikontrol oleh computer melalui software Lab-View. Percobaan dilakukan dengan cara memanaskan temperatur fluida (air) di dalam heater sampai mencapai temperatur atur yang ditentukan, kemudian mempertahankan temperatur pada keadaan tunak selama 5 jam. Selanjutnya, daya listrik ke pemanas dimatikan dan sistem dibiarkan dingin secara alami saat merekam data. Pengambilan data tersebut untuk mendapatkan matriks parameter penelitian pada temperatur atur WHT 50 °C, 60 °C dan 70 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju aliran massa didapatkan dari hasil pengukuran debit aliran (Q) dalam *heat exchanger* dikalikan dengan massa jenis air (ρ) berdasarkan fungsi perubahan temperatur (T) *heat exchanger* menggunakan persamaan (1).



Gambar 1. Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1 (M. Juarsa)



Gambar 2. Setup untai uji FASSIP-02 Ver. 1

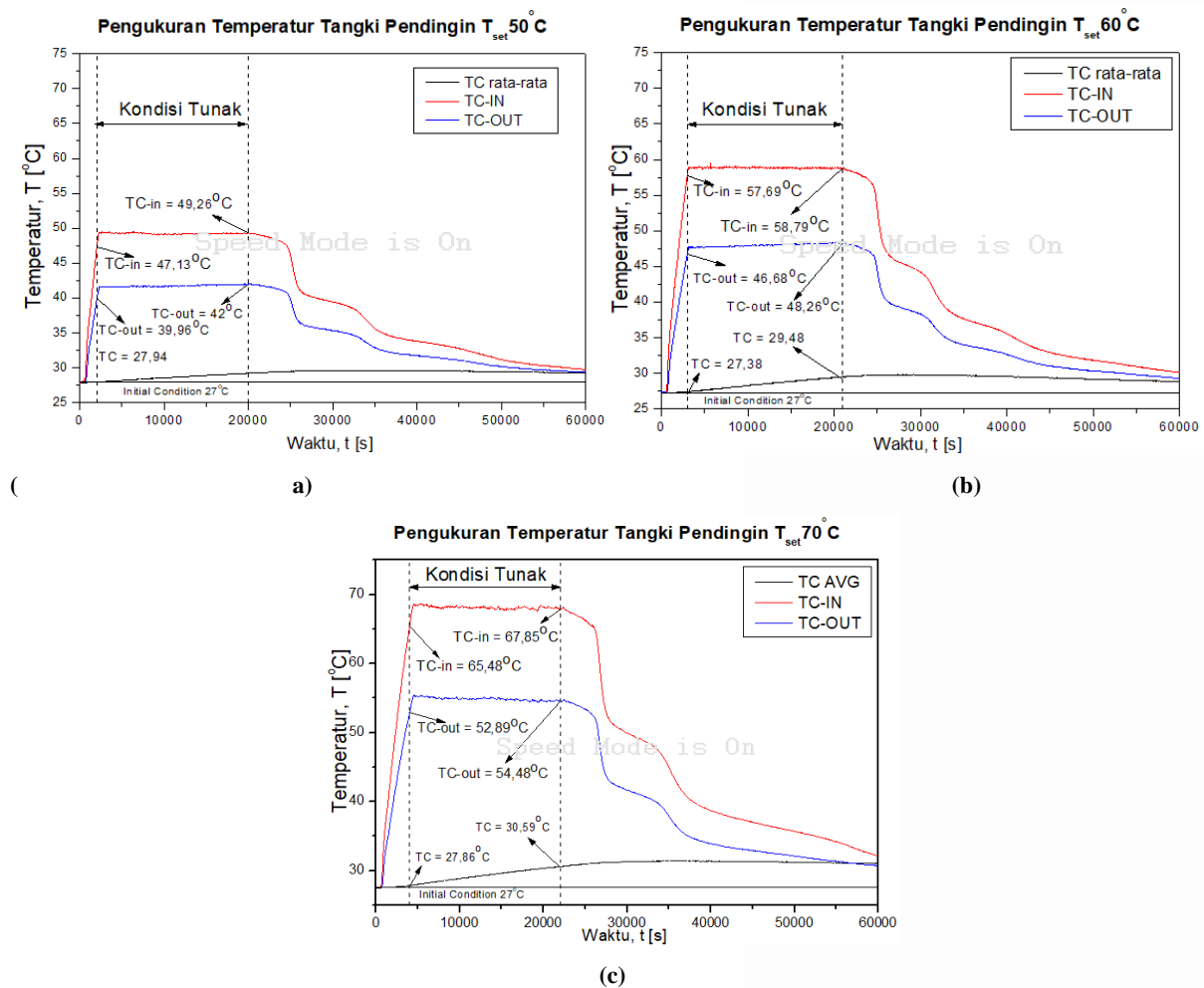
$$\dot{m} = \rho(T) \cdot Q \quad (1)$$

Dikarenakan densitas merupakan fungsi dari temperatur maka nilai densitas dapat diperoleh melalui perasamaan korelasi berikut.

$$\rho(T) = (A + B \cdot T_f + C \cdot T_f^2) \quad (2)$$

Perubahan temperatur yang digunakan untuk fungsi massa jenis air adalah temperatur air

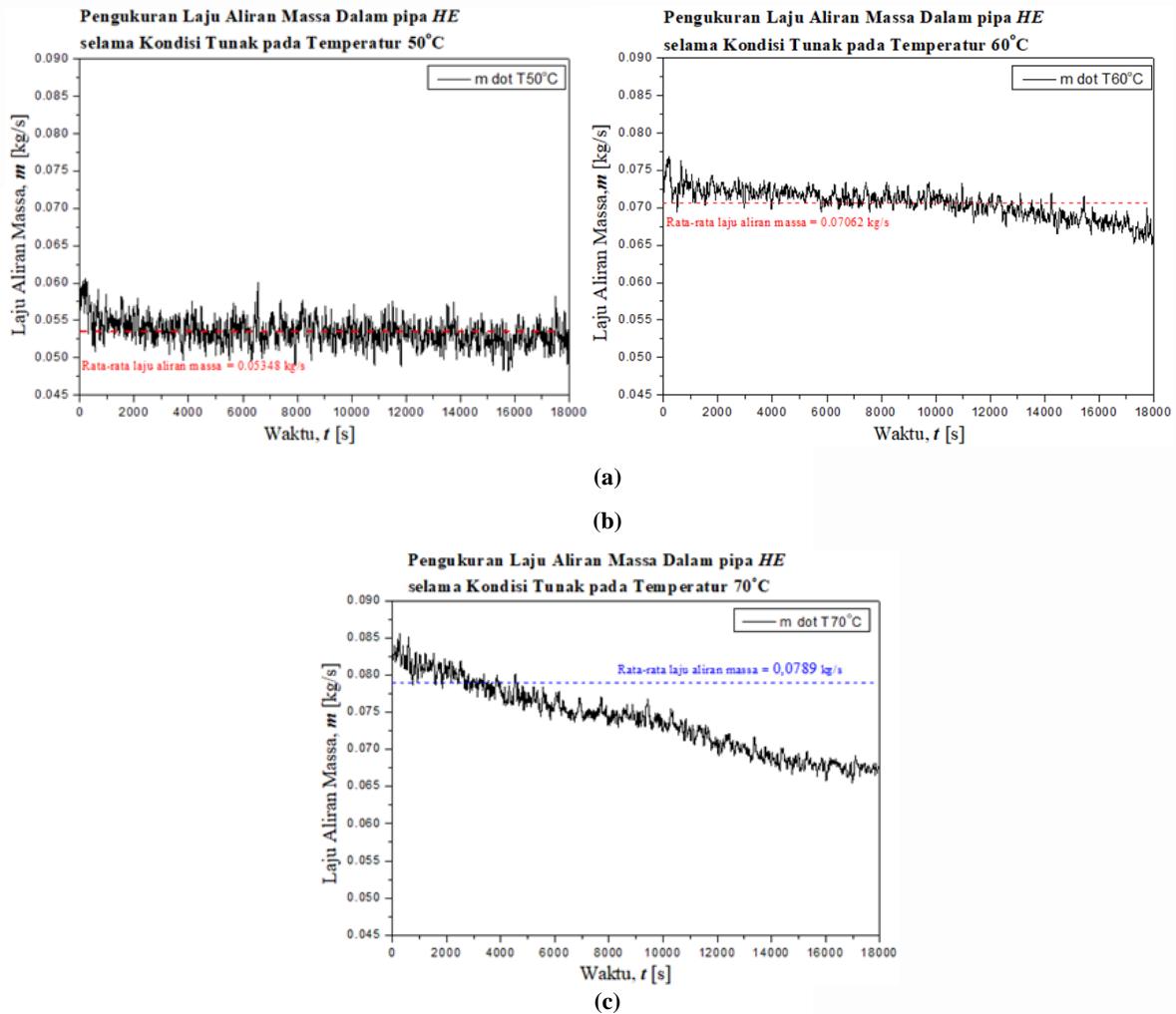
dalam tangki pendingin pada variasi temperaturatur tangki pemanas 50 °C, 60 °C dan 70 °C yang di dapat dari hasil eksperimen analisis perubahan energi internal air pada tangki pendingin menggunakan pengukuran temperatur rata-rata, temperatur masuk, dan keluar dari tangki pendingin yang diperoleh berdasarkan perekaman instrument pengukuran NI 9214 kemudian dikonversi dalam bentuk excel dan dipindahkan ke program OriginPro8 untuk membuat tampilan hasil perubahan temperatur selama eksperimen dalam bentuk grafik. Karakteristik temperatur pada tangki pendingin disajikan dalam bentuk grafik **Gambar 3. (a)-(c)**



Gambar 3. (a) Temperatur air dalam tangki pemanas 50 °C
(b) Temperatur air dalam tangki pemanas 60 °C (c) Temperatur air dalam tangki pemanas 70°C

Grafik pada **Gambar 3.** menunjukkan semakin besar variasi temperatur maka perbedaan temperatur yang terjadi juga semakin besar. Perbedaan temperatur juga mempengaruhi nilai laju

aliran massa yang diperoleh pada tangki pendingin. Laju aliran massa selama eksperimen dalam bentuk grafik disajikan dalam dalam grafik **Gambar 4.**



Gambar 4. (a) Laju aliran massa temperatur 50 °C
(b) Laju aliran massa temperatur 60 °C (c) Laju aliran massa temperatur 70°C

Gambar 4.(a) menunjukkan pengukuran laju aliran massa dalam pipa heat exchanger pada variasi temperatur atur 50 °C mengalami stabilitas dengan rata-rata 0.05350 kg/s selama kondisi tunak. Namun, di temperatur 60 °C yang di tunjukan pada **Gambar 4.(b)** meski dalam kondisi tunak, tetapi laju aliran massa sedikit menurun dari 0,0737 kg/s menjadi 0,06623 kg/s dengan rata-rata 0.06994 kg/s selama kondisi tunak. Selanjutnya, pada temperatur 70 °C yang ditunjukkan dalam Grafik pada **Gambar 4.(c)** stabilitas dalam kondisi tunak menurun, sehingga laju aliran massa mengalami penurunan yang lebih signifikan dibandingkan dengan temperatur sebelumnya (60 °C). Laju aliran massa pada temperatur WHT 70 °C awal kondisi tunak sebesar 0.08277 kg/s dan berakhir pada 0.06803 kg/s dengan rata-rata selama kondisi tunak sebesar 0.07365 kg/s.

Dengan demikian, hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada temperatur atur 50 °C

stabilitas laju aliran massa dalam pipa heat exchanger tetap terjaga. Namun, pada suhu 60 °C serta 70 °C stabilitas tersebut mengalami penurunan, yang menyebabkan laju aliran massa mengalami penurunan yang lebih signifikan pada suhu 70 °C di bandingkan dengan temperatur 60 °C saat dalam kondisi tunak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada eksperimen menunjukkan perbedaan temperatur juga mempengaruhi nilai laju aliran massa yang diperoleh pada tangki pendingin, sehingga semakin tinggi temperatur pada WHT maka laju aliran massa ketika masuk kondisi tunak semakin tinggi dari 0.05348 kg/s menjadi 0.07890 kg/s. Besaran laju aliran massa pada setiap variasi temperatur mengalami kenaikan ketika mulai memasuki kondisi tunak. Namun, lamanya kondisi tunak (5jam) pada temperatur setting sebesar 50 °C atau lebih menyebabkan timbulnya bubble pada aliran air sirkulasi alami yang

mempengaruhi kecepatan laju aliran massa yang terhambat, sehingga grafik setiap laju aliran massa pada kondisi temperatur tinggi (≥ 50 °C) ketika dalam keadaan tunak akan turun. Laju aliran massa setiap hasil perhitungan laju aliran massa memiliki profil kenaikan yang sama dengan laju aliran sirkulasi alami, hal ini dikarenakan laju aliran massa merupakan fungsi dari laju alir volumetrik sirkulasi alami. Hasil Analisa menunjukkan bahwa perbedaan temperatur antara bagian WCT dan WHT menentukan aliran sirkulasi alamiah, dimana semakin tinggi temperatur atur WHT maka aliran sirkulasi alami nya semakin besar.

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, Organisasi Riset Tenaga Nuklir (BATAN), dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BATAN). 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 Teknik Mesin FTS Universitas Ibn Khaldun Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nuclear Energy Agency, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, Ten Years On: Progress, Lessons, and Challenge, 2021.
- [2] A. R. Antariksawan, S. Widodo, M. Juarsa, D. Haryanto, M. H. Kusuma and N. Putra, "Numerical study on natural circulation characteristics in FASSIP-02 experimental facility using RELAP5 code," *IOP Conf. Ser. Earth Environ*, vol. 105, no. 1, pp. 0-6, 2018.
- [3] Wang, J. Y., Chuang, T. J., & Ferng, Y. M., "CFD Investigating Flow and Heat Transfer Characteristics in a Natural Circulation Loop," *Annals of Nuclear Energy*, pp. 65-71, 2013.
- [4] Giarno, J. P. W and N. A. Rachman, "ANALISIS LAJU ALIRAN AIR DI COOLER PADA HEAT SINK SYSTEM UNTAI UJI FASSIP," *Sigma Epsilon*, vol. 20, no. 1, pp. 40-48, Febuari 2016.
- [5] Giarno, M. H. Kusuma, M. Juarsa, A. R. Antariksawan, J. P. Witoko and D. Haryanto, "PENGUJIAN KEBOCORAN WATER HEATING TANK," *Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI XII)*, pp. 62-67, 26-28 April 2018.
- [6] M. Juarsa, J. H. Purba, H. M. Kusuma, T. Setiadipura and S. Widodo, "PRELIMINARY STUDY ON MASS FLOW RATE IN PASSIVE COOLING EXPERIMENTAL SIMULATION DURING TRANSIENT USING NC-QUEEN APPARATUS," *Atom Indonesia*, vol. 40, no. 3, pp. 141-147, 2014.
- [7] Juarsa. M., Antariksawan, A. R., Kusuma, M. H., Haryanto, D., & Putra, N., "Estimation of Natural Circulation Flow Based on Temperatur in the FASSIP-02 Large-Scale Loop Facility," in *2nd international Tropical Renewable Energy Conference (i-TREC) 2017*, 2018.
- [8] L. F. Ningsih, A. R. Sofyan, Giarno, D. Haryanto, J. P. Witoko and M. Juarsa, "ESTIMASI PERHITUNGAN KALOR DAN LAJU ALIRAN KALOR PADA UNTAI FASSIP-02," *Sigma Epsilon*, vol. 22, no. 1, pp. 26-34, Mei 2018.
- [9] J. V., N. A., V. P., S. D. and S. R., "Eksperimental investigation on the flow instability behavior of a multi-channelboiling natural," *Experimental Thermal and fluid science*, pp. 776-787, 2018.
- [10] N. Syam and A. Septilarso, "Aplikasi Sistem Keselamatan Pasif Pada Reaktor Nuklir," in *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY, DIY & Jateng*, 2011.
- [11] M. Noufal, Giarno, J. Prasetyo, D. Haryanto and M. Juarsa, "ANALISIS UNJUK KERJA PEMANAS DAN PENDINGIN DI UNTAI FASILITAS SIMULASI SISTEM PASIF," *SIGMA EPSILON-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, vol. 19, no. 2, pp. 92-101, Agustus 2015.