

## **Investigasi Laju Aliran Massa Sirkulasi Alami dalam Pipa Penukar Kalor pada Tangki Pendingin Untai Uji Fassip-02 Ver.1**

**Yeni Anggraini**

Fakultas Teknik dan Sains, Program Studi Teknik Mesin

Universitas Ibn Khaldun

Email: [anggarini2887@gmail.com](mailto:anggarini2887@gmail.com)

**Mulya Juarsa**

Kelompok Riset Sistem Termo-Fluida Reaktor Nuklir

Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan Reaktor, Nuklir (PRTRKN),

Organisasi Riset Tenaga Nuklir (BATAN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Email: [mulya.juarsa@brin.go.id](mailto:mulya.juarsa@brin.go.id)

**Dwi Yuliaji**

Fakultas Teknik dan Sains, Program Studi Teknik Mesin

, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Email: [dwi.yuliaji@uika-bogor.ac.id](mailto:dwi.yuliaji@uika-bogor.ac.id)

**Roy Waluyo**

Fakultas Teknik dan Sains, Program Studi Teknik Mesin

Universitas Ibn Khaldun

Email: [roy.waluyo@gmail.com](mailto:roy.waluyo@gmail.com)

**Esa Putra**

Fakultas Teknik dan Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri

Universitas Gajah Mada

Email: [esa.putra416.ep@gmail.com](mailto:esa.putra416.ep@gmail.com)

**Ryan Oktaviandi**

Fakultas Teknik dan Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri

Universitas Gajah Mada

Email: [ryanoktaviandi@mail.ugm.ac.id](mailto:ryanoktaviandi@mail.ugm.ac.id)

**Prya Moniaga**

Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin

Universitas Indonesia

Email: [pryamoniaga@gmail.com](mailto:pryamoniaga@gmail.com)

**Shendy Akbar Maryadi**

Fakultas Teknik dan Sains, Program Studi Teknik Mesin

Universitas Ibn Khaldun Bogor

Email: [akbarsendy@gmail.com](mailto:akbarsendy@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Fenomena sirkulasi alami terjadi karena adanya gabungan gaya Buoyancy dengan gaya hambatan friksi tanpa adanya intervensi dari gaya luar (listrik/mekanik). Besaran laju aliran massa penting ditentukan untuk analisis perubahan energi internal yang terjadi, demikian juga dengan rejim aliran yang terbentuk. Sehingga, tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk mendapatkan karakteristik nilai laju aliran massa serta besaran bilangan Reynold pada aliran sirkulasi alami di dalam pipa penukar kalor di tangki pendingin. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan merubah kondisi awal *setting* temperatur air di dalam bagian tangki

pemanas dengan variasi dari 50°C, 60°C dan 70°C. Eksperimen dilakukan selama 22 jam dan proses perekaman data menggunakan sistem akuisisi data dengan *sampling rate* satu data per detik dan pengambilan data difokuskan pada perubahan temperatur di inlet dan outlet pipa penukar kalor di dalam tangki pendingin, selain perubahan laju aliran volumetrik menggunakan flowmeter elektromagnetik direkam. Nilai laju aliran massa dipengaruhi oleh perbedaan temperatur berdasarkan data aliran sirkulasi alami yang diukur, sehingga semakin tinggi temperatur pada WHT maka rata-rata laju aliran massa sirkulasi alami pada kondisi tunak semakin tinggi dari 0.05348 kg/s menjadi 0.07890 kg/s. Rejim aliran pada temperature 50°C, 60°C dan 70°C merupakan aliran turbulen yang secara berturut-turut ditunjukkan dengan bilangan Reynold dari 4485, 6744, dan 7714. Hasil analisa menunjukkan bahwa perbedaan temperature antara bagian WCT dan WHT menentukan aliran sirkulasi alamiah, dimana semakin tinggi temperature atur WHT maka aliran sirkulasi alami nya semakin besar.

**Kata kunci:** sirkulasi alami, FASSIP-02 Ver.1, WCT, laju aliran massa, WHT, penukar kalor

### ABSTRACT

*Natural circulation occurs because of a combination of buoyancy forces with frictional resistance forces without external forces (electrical/mechanical) intervention. The magnitude of the mass flow rate is important for the analysis of internal energy changes that occur, as well as the formed flow regime. Thus, the research purpose was 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 conducted experimentally by changing the initial conditions of setting the water temperature in the heating tank section with variations of 50oC, 60oC, and 70oC. 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 temperature at WHT, the higher the average natural circulation mass flow rate at steady state is higher, from 0.05348 kg/s to 0.07890 kg/s. The flow regime at 50oC, 60oC, and 70oC is turbulent flow, respectively, indicated by the Reynolds numbers 4485, 6744, and 7714. The analysis results show that the temperature difference between the WCT and WHT sections determines the natural circulation flow, where the higher the WHT set temperature, the greater the natural circulation flow.*

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

## 1. 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, sebuah 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 *reactor* dengan sirkulasi alami. Sirkulasi alami sebagai filosofi dasar untuk teknologi memanfaatkan pengambilan sisa kalor akibat kecelakaan pada *reactor* nuklir. Kelebihan kalor tersebut akan didinginkan menggunakan prinsip sirkulasi alami (*natural circulation*) sehingga mencegah terjadinya pelelehan teras *reactor* [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 bertemperatur 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].

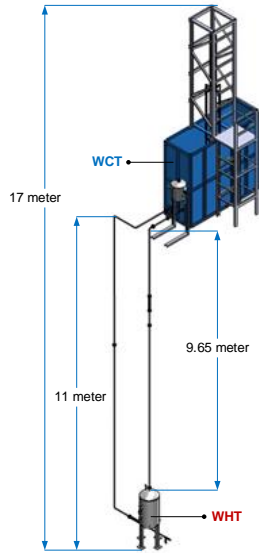
Sistem pendingin darurat dengan sirkulasi alami dirancang untuk menjaga pendinginan selama 72 jam. Estimasi perhitungan kalor, laju aliran kalor, dan waktu penguapan air pada tangki pendingin (WCT) dilakukan sebagai bagian dari desain sistem ini. PTKRN BATAN (Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir 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 perpipaan ( $L$  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.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 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. Fasilitas tersebut dibangun pada tahun 2016 dan terus melakukan perkembangan dan saat ini sudah ada pembaharuan pada *boundary condition* berupa perubahan total panjang perpipaan ( $L$  total), diameter pipa ( $D$ ), dan beda ketinggian antara outlet pemanas dan inlet pendingin ( $H$ ). Untai uji tersebut 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 ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



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

Dari gambar tersebut terdapat komponen-komponen utama yang di uraikan pada tabel data teknis untai uji FASSIP-02 Ver. 1 yang ditunjukkan pada **Tabel 1.**

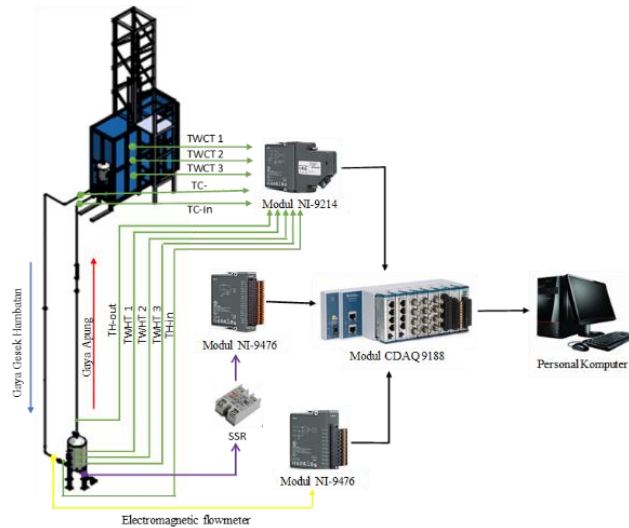
**Table 1. Data Teknis Untai Uji FASSIP-02 Ver. 1**

No	Komponen	Data Teknis	Jumlah	
1	Loop	Material Loop	SUS 304	1
		Tinggi pipa bouyancy	9,65 m	
		Lebar	1,19 m	
		Panjang Total	14,64 m	
		$D_{in}$	0,025 m	
		$D_{out}$	0,033 m	
		Keterangan	1 inch SCH20	
2	Water Heating tank	Tipe	Direct	1
		Diameter	24 inch	
		Tinggi	1 m	
		volume	385 liter	
		Material	SUS304	
		Termometer Gauge	Analog	
3	Expansion Tank	Heater	5000 Watt	4
		Material	SUS 304	1
		Diameter	0,48 m	
		tinggi	0,794 m	
4	Water cooling tank	Volume	90,3 liter	
		Tipe	Pool Tank	
		Panjang	3,1 m	
		Lebar	1,1 m	

		<i>Tinggi</i>	2,70 m	
		<i>Volume</i>	9357,04 liter	
		<i>Material</i>	ASTM A36	
5	<i>Pompa</i>	<i>Tipe</i>	Grundfos CR series	1
		<i>Max Frekuensi</i>	35 Hz	
		<i>Max Head</i>	362 m	
		<i>Range Temp</i>	-30 to 120 C	
6	<i>Flowmeter</i>	<i>Tipe</i>	E-MAG Type	1
		<i>Range Measurement</i>	0-0,3 m/s to 0,3 to 10 m/s	
		<i>Lining</i>	PTFE	
		<i>Max Temp</i>	100°C	
		<i>Flange Material/koneksi</i>	SUS304 / JIS 10 K	
7	<i>Heat exchanger</i>	<i>Tipe</i>	U-shape	1
		<i>Material</i>	Cooper	
		<i>D<sub>in</sub></i>	0,02524 m	
		<i>D<sub>out</sub></i>	0,0254 m	
		<i>Panjang</i>	1,67 m	
		<i>Lebar</i>	0,8 m	
		<i>Volume</i>	2,07 liter	
8	<i>Termokopel</i>	<i>Tipe 1</i>	SS probe tipe K	12
		<i>Tipe 2</i>	Teflon termokopel tipe K	4
		<i>Model</i>	Long Cable	
		<i>Error pembacaan</i>	±0,5 %	

## 2.2 *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 di lihat pada Gambar 2.



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

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 komputer 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 sebagai parameter penelitian yang di tampilkan pada Tabel 2.

**Table 2. Matriks Eksperimen**

<i>Temperatur Setting (°C)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>ρ(T) (kg/m³)</i>	<i>ṁ(kg/s)</i>	<i>μ(Pa.s)</i>	<i>d(m)</i>	<i>v (m/s)</i>	<i>μ(Pa.s)</i>
50	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
60	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
70	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

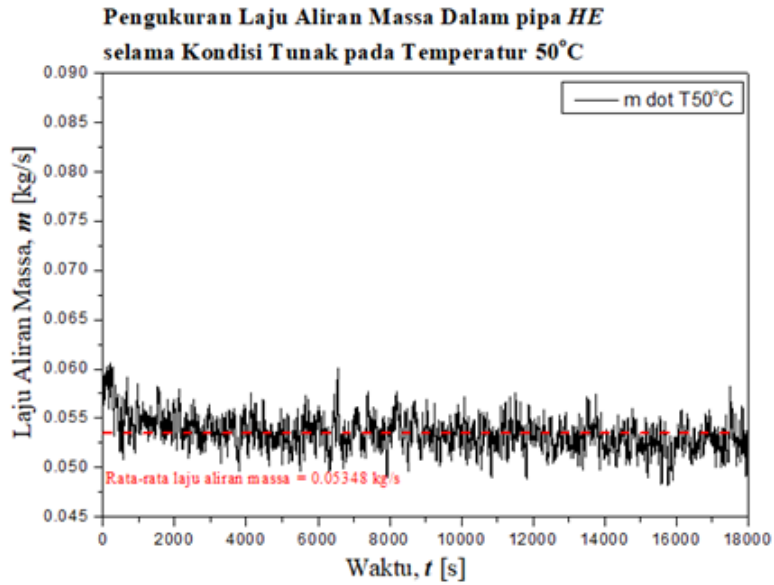
Laju aliran massa didapatkan dari hasil pengukuran debit aliran (*Q*) dalam heat exchanger dikalikan dengan massa jenis air (*ρ*) berdasarkan fungsi perubahan temperature heat exchanger menggunakan persamaan (1).

$$ṁ = \rho(T).Q \tag{1}$$

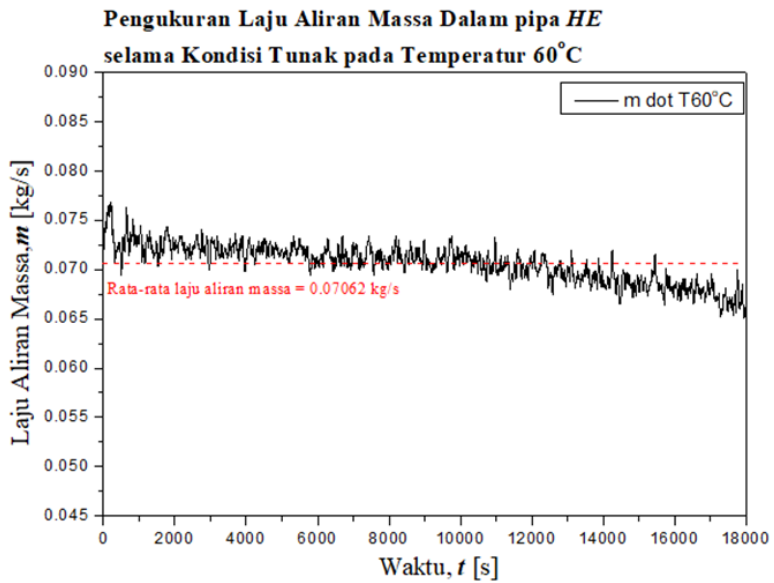
Dikarenakan densitas merupakan fungsi dari temperatur maka nilai densitas dapat diperoleh melalui persamaan korelasi berikut.

$$\rho(T) = (A + B.Tf + C.T^2) \tag{2}$$

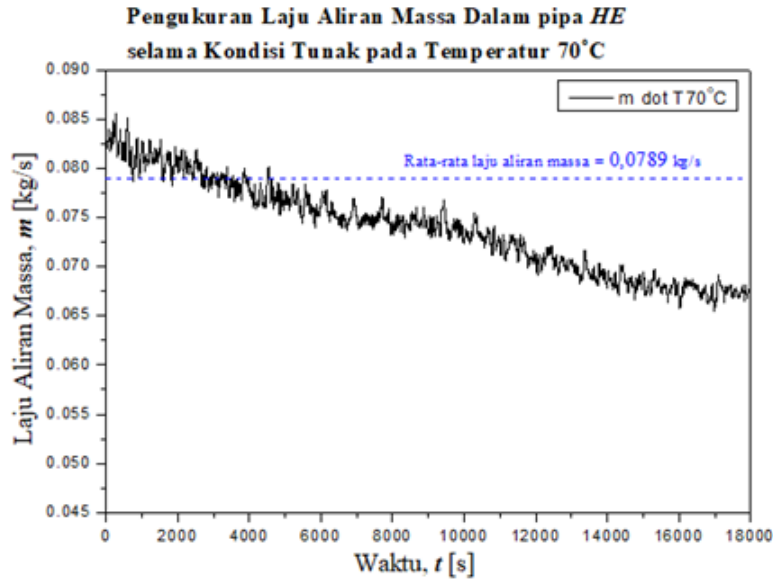
Perhitungan yang sudah diperoleh dipindahkan ke program OriginPro8 agar tampilan hasil analisis laju aliran massa selama eksperimen dalam bentuk grafik. Data analisis laju aliran massa disajikan dalam grafik Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



Gambar 3. Laju aliran massa temperature 50°C



Gambar 4. Laju aliran massa temperature 60°C



**Gambar 5. Laju aliran massa temperature 70°C**

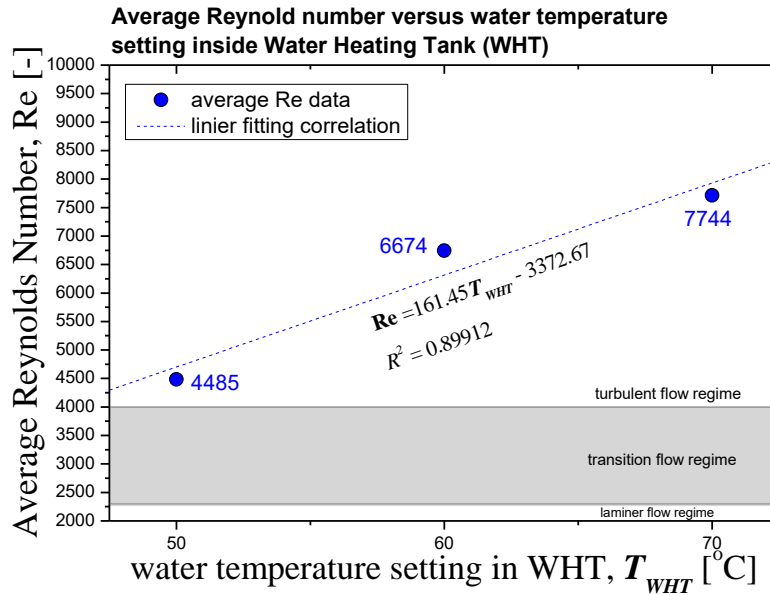
Gambar 3 menunjukkan pengukuran laju aliran massa dalam pipa *heat exchanger* pada variasi temperatur atur 50 °C mengalami stabilitas dengan rata-rata 0.05350 Kg/s selama kondisi tunak. Namun, di temperatur 60 °C yang di tunjukan pada Gambar 4 meski dalam kondisi tunak, tetapi laju aliran massa sedikit 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 5, 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 oC 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. Untuk menentukan jenis aliran yang terjadi didalam pemipaan perlu dihitung bilangan Reynolds pada kondisi laju aliran dan temperatur fluida kerja. Perhitungan bilangan Reynolds dilakukan menggunakan persamaan (3)

$$Re = \rho \frac{vD}{\mu} \quad (3)$$

Bilangan Reynold dapat menyatakan rejim aliran suatu aliran fluida, dimana untuk aliran laminar memiliki besaran  $Re < 2000$  sedangkan untuk aliran turbulen sebesar  $Re > 4000$ , jika bilangan Reynolds antara 2000 – 4000 ( $2000 < Re < 4000$ ) maka jenis aliran yang terjadi aliran transien. Viskositas adalah indikator adanya gesekan resistensi antara partikel dengan penampangnya. Dapat diartikan juga dengan ketahanan sebuah fluida dengan perubahan bentuk. Grafik bilangan Reynold ditunjukkan pada Gambar 6.





**Gambar 6. Bilangan Reynold versus setting temperature air dalam WHT**

Hasil perhitungan yang ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 6, menampilkan rejim aliran pada temperatur 50°C, 60°C dan 70°C yang hasil perhitungan bilangan Reynold masuk kedalam rejim aliran turbulen dengan bilangan Reynold di atas 4000, yang secara berturut-turut bilangan Reynold adalah 4485, 6744, dan 7714. Hal tersebut menunjukkan, bahwa gaya apung dan gaya hambatan friksi yang terjadi pada kondisi setimbang selama kondisi tunak memberikan besaran kemampuan aliran sirkulasi alami yang telah mencapai kerja aliran seperti menggunakan pompa sirkulasi, padahal prakteknya pompa tidak digunakan sama sekali. Besarnya rejim aliran yang terbentuk tentunya disebabkan tingginya panjang head aliran dari keluaran WHT, yakni 9,65 meter, selain sumber kalor berasal dari air sebanyak 200liter yang dipanaskan secara langsung oleh *immersioan heater* (2 kW).

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada eksperimen menunjukkan perbedaan temperature juga mempengaruhi nilai laju aliran massa yang diperoleh pada tangki pendingin, sehingga semakin tinggi temperature 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 temperature mengalami kenaikan ketika mulai memasuki kondisi tunak. Namun, lamanya kondisi tunak (5jam) pada temperature 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 temperature tinggi ( $\geq 50^\circ\text{C}$ ) 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. Rejim aliran pada temperature 50°C, 60°C dan 70°C merupakan aliran turbulen yang secara berturut-turut ditunjukkan dengan bilangan Reynold dari 4485, 6744, dan 7714. Hasil Analisa menunjukkan bahwa perbedaan temperature antara bagian WCT dan WHT menentukan aliran sirkulasi alamiah, dimana semakin tinggi temperature 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.

## 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, Februari 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 Temperature 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] N. Syam and A. Septilarso, "Aplikasi Sistem Keselamatan Pasif Pada Reaktor Nuklir," in *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY, DIY & Jateng*, 2011.
- [10] 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.
- [11] 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.