

LAJU ALIRAN SIRKULASI ALAM OUTLET TANGKI PEMANAS BERDASARKAN VARIASI TEMPERATUR HEATER PADA UNTAI Pre-FASSIP-02 Mod.01

Ade Suryana^{1*}, Sri Poernomo Sari¹, Iwan Setyawan¹, G. Bambang Heru K.², Mulya Juarsa², Ryan Oktaviandi³

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Depok

²Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nukir Nasional, Kawasan PUSPIPTEK, Tangsel

³Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun, Bogor

*Corresponding author: suryanaa6@gmail.com

Abstrak. Gagalnya penggunaan sistem pendingin aktif, mendorong penggunaan sistem pendingin pasif agar dapat lebih dioptimalkan lagi penggunaannya. Maka guna mengoptimalkan penggunaan sistem pendingin pasif, dilakukanlah beberapa penelitian salah satunya menggunakan Untai Pre-FASSIP02 sebagai simulasi sistem pendingin pasif. Tujuan penelitian yang dilakukan untuk memperoleh karakteristik pada perubahan temperatur air dan hasil analisis dari perhitungan laju aliran berdasarkan variasi temperatur *heater*. Metode yang digunakan dalam penelitian menggunakan metode eksperimen menggunakan Untai Pre-FASSIP02 Mod.1 dengan menambahkan 6 variasi temperatur *heater* 90°C–40°C. Data karakteristik temperatur perubahan air menunjukkan waktu paling lama yang dibutuhkan *heater* untuk mencapai temperatur yang diinginkan terdapat pada variasi temperatur *heater* 90°C sebesar 15600 detik, sedangkan waktu paling lama ada pada variasi temperatur *heater* 40°C sebesar 1834 detik .Ini menunjukkan bahwa pada variasi temperatur 90°C memiliki waktu pemanasan 15x lipat lebih lama dari variasi temperatur 40°C. Data nilai laju aliran berupa perhitungan dan grafik pada masing masing variasi temperatur *heater* menunjukkan bahwa laju aliran tertinggi ada pada variasi temperatur *heater* 90°C (0,073459 m/s) sedangkan laju aliran terendah ada pada temperatur 40°C (0,001545 m/s). Nilai variasi temperatur sangat berpengaruh pada besar kecilnya nilai laju aliran yang diperoleh. Karena semakin besar variasi temperatur maka beda temperatur antara *heater* dan *cooler* yang diperoleh akan semakin besar sehingga nilai densitas dan viskositas dinamik yang diperoleh pun akan semakin besar.

Abstract. The failure to use an active cooling system, encourages the use of a passive cooling system so that its use can be further optimized. So in order to optimize the use of passive cooling systems, a number of studies have been conducted, one of which is using the Pre-FASSIP02 loop as a passive cooling system simulation. The purpose of this study is to obtain characteristics of changes in water temperature and the results of analysis of the calculation of flow rates based on temperature variations of the heater. The method used in the study used the experimental method using the Pre-FASSIP02 Loop Mod.1 with extended 6 heater temperature variation between 90°C until 40°C. Temperature characteristics data show that the longest time needed by heater to reach the desired temperature is in the variation of heater temperature 90° C for 15600 seconds, while the fastest time is at temperature variation of heater 40° C for 1834 seconds. This shows that at temperature variation 90° C has warm up time is 15x longer than the temperature variation of 40° C. Flow rate data in the form of calculations and graphs in each heater temperature variation shows that the highest flow rate is at a temperature variation of heater 90° C (0,073459 m/s) while the lowest flow rate is at a temperature of 40° C (0.001545 m/s). The value of temperature variation will be affects to the value of the flow rate obtained. Because the greater the temperature variation, the temperature difference between the heater and cooler obtained will be even greater. So the value of water density and dynamic viscosity obtained will be even greater.

Kata kunci: Laju Aliran, Sistem Pendingin Pasif, Untai Pre-FASSIP02, Sirkulasi Alam, Tangki Pemanas.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Ketersediaan energi fosil sebagai sumber energi utama yang digunakan di Indonesia saat ini

keadaannya sudah semakin menipis, hal ini membuat pemerintah Indonesia berfikir untuk menggunakan energi terbarukan salah satunya

energi nuklir untuk tetap menjaga ketersediaan energi di Indonesia. Energi nuklir merupakan salah satu energi terbarukan yang memiliki keunggulan antara lain dapat menghasilkan energi yang besar, bahan bakarnya tidak mahal, dan mudah untuk dipindahkan (dengan keamanan yang ketat). Selain memiliki kelebihan, energi nuklir juga memiliki kekurangan yaitu apabila terjadi terjadi kecelakaan yang menyebabkan lepasnya zat radioaktif ke lingkungan maka akan berdampak buruk bagi kelangsungan hidup manusia [1]. Salah satu peristiwa kecelakaan yang menimbulkan efek radiasi ke lingkungan pernah terjadi di Fukushima, Jepang pada Maret 2011 yang pada awalnya disebabkan oleh bencana alam berupa gempa bumi lalu disusul oleh tsunami yang menerjang batas air di kompleks reaktor Fukushima, sehingga mengakibatkan sistem tenaga genset diesel untuk mengopersikan sistem pendingin aktif pasca reaktor tipe BWR (*Boiling water reactor*) shutdown terendam. Akibatnya menimbulkan ledakan Hidrogen dan lelehnya bejana reaktor dan bahan bakar. Kecelakaan reaktor akibat gagalnya pendinginan menjadi gambaran bahwa suatu sistem pendinginan reaktor nuklir tidak bisa selalu mengandalkan sistem pendingin aktif (menggunakan genset sebagai tenaga utama) untuk memindahkan atau mengurangi panas yang ditimbulkan dari teras reaktor [2].

Belajar dari peristiwa kecelakaan karena gagalnya sistem pendingin aktif yang masih menggunakan genset sebagai tenaga. Maka, para peneliti dan ahli dibidang nuklir telah memikirkan dan menemukan permodelan alternatif dalam sistem pendingin yang tidak menggunakan temperatur dan energi listrik namun tetap dapat bekerja dengan mengandalkan hukum hukum alam. Sistem pendingin tersebut dinamakan sistem pendingin pasif dimana prinsip kerjanya menggunakan sirkulasi alam dikarenakan adanya perbedaan kerapatan atau densitas pada dua titik fluida yang memiliki perbedaan ketinggian [2].

Beberapa penelitian tentang *natural circulation* dan sistem pasif telah dilakukan oleh Eshita et,al mengenai simulasi distribusi aliran dan temperatur fluida pada sirkulasi alam dari sebuah reaktor nuklir canggih, menyatakan bahwa di dalam sebuah tangki calandria yang didalamnya berisi fluida dan *Heater Tube* ketika aliran dalam kondisi *Steady State* tidak mengganggu distribusi temperatur secara radial [3]. Duffey dan Sursock melakukan Penelitian mengenai karakteristik *natural circulation* pada dua jenis reaktor tipe PWR dan BWR telah menyatakan bahwa pada reactor tipe PWR, *Natural circulation* sangat kuat tergantung pada ketersediaan fluida. Namun, pada tipe BWR, *Natural circulation* bergantung pada

vessel level dan pada tingkat temperatur, kedua jenis reaktor menunjukkan debit yang maksimal pada kondisi tertentu [4]. Peng et,al melakukan penelitian mengenai demonstrasi dua sistem keselamatan pasif untuk 200 MW untuk instalasi pemanas nuklir. Dinyatakan bahwa dua sistem keselamatan pasif yang digunakan membuat reaktor menjadi aman. Disamping aman, sistem keselamatan pasif juga dapat diandalkan [5]. Juarsa, dkk[6,7] telah melakukan penelitian menggunakan Untai NC-QUEEN untuk kondisi transien, berdasarkan variasi temperatur dan beda ketinggian. Namun, penelitian tidak dapat dilakukan secara steady-state dan visualisasi tidak dilakukan.

Berdasarkan beberapa peristiwa kecelakaan reaktor nuklir yang terjadi dan juga beberapa penelitian mengenai *natural circulation* dan sistem pendingin Pasif. Maka, PTKRN-BATAN bekerja sama dengan Fakultas Teknik Universitas Indonesia melalui proyek hibah riset program INSINAS membuat suatu fasilitas simulasi keselamatan reaktor nuklir yang diberi nama Untai Pre-FASSIP-02 (untai Preliminary fasilitas simulasi sistem pendingin pasif 02). Untai Pre-FASSIP-02 adalah sebuah alat eksperimen simulasi sistem pendingin pasif pada reaktor nuklir yang digunakan untuk melihat dan mempelajari fenomena sirkulasi alam yang terjadi. Untai Pre-FASSIP-02 terdiri dari pipa berbahan *pyrex* dan sambungan berbahan selang dan memiliki komponen utama berupa *heater tank* dan *coil heat exchanger* (*coil HE*) [8]. Untuk mengetahui apakah Untai Pre-FASSIP-02 bekerja dengan baik, maka harus diketahui juga bagaimana laju aliran dari fluida yang mengalir di untai Pre-FASSIP-02. Penelitian bertujuan untuk memperoleh karakteristik terkait perubahan temperatur air pada bagian tangki pemanas berdasarkan perubahan temperatur yang dipakai pada *heater* dan analisis perhitungan laju aliran pada bagian outlet tangki pemanas akibat adanya perubahan temperatur pada *heater*. Penelitian ini hanya difokuskan pada analisa perhitungan laju aliran pada outlet *heater* dengan menggunakan metode yaitu variasi temperatur yang berbeda sebagai variabel yang dibutuhkan *heater* untuk memanaskan air. Hasil penelitian dapat menjadi data yang akan digunakan dalam *improvement* terhadap alat yang sudah ada demi perkembangan penelitian mengenai keselamatan nuklir di masa yang akan datang.

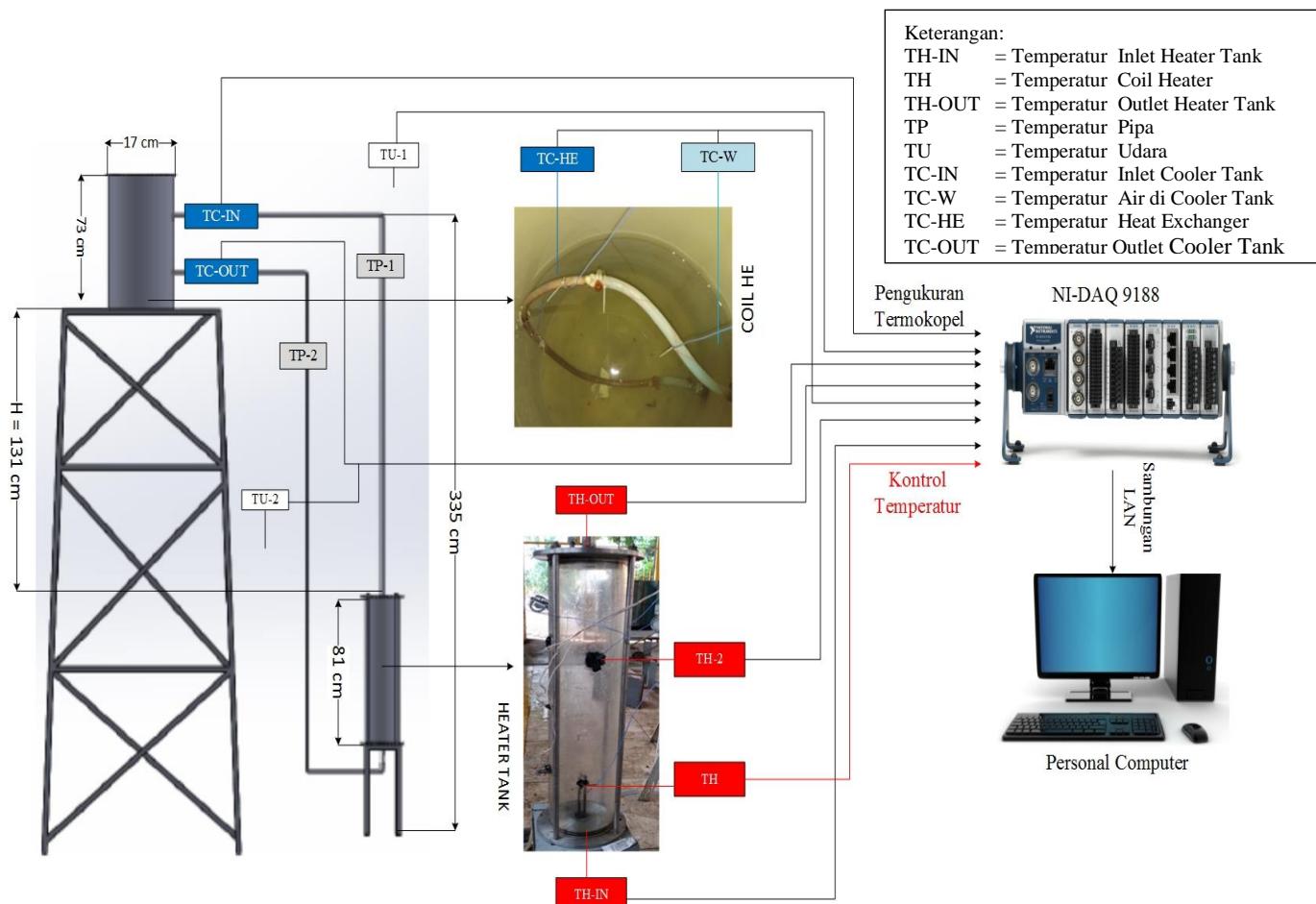
Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada eksperimen menggunakan alat Untai Pre-FASSIP02 terdiri dari eksperimental setup dan juga matriks eksperimen.

Setup Eksperimen

Setup eksperimen terdiri dari desain Untai Pre-FASSIP02, posisi pemasangan termokopel, dan tahapan jalur perekaman data. Untai Pre-FASSIP-02 terdiri dari sambungan *elbow*, *tee*, dan pipa kaca berbahan *pyrex* dengan diameter 1,27 cm yang membentuk untai dengan tinggi total 3,75 m dan lebar 1 m. Pipa *pyrex* digunakan agar dapat melihat fenomena aliran yang terjadi di dalam untai. Untai Pre-FASSIP-02 memiliki dua komponen penting yaitu *heater* dan *coil heat exchanger* yang dibagi kedalam dua segmen/bagian yaitu segmen pemanas dan segmen pendingin. Gambar 1 merupakan gambaran setup dari Untai Pre-FASSIP02 Mod.01. Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 telah dipasang termokopel tipe k di 12 titik yang telah ditentukan dan juga dipasang kontrol temperatur *heater* menggunakan *solid state relay*. Semua titik pemasangan termokopel terhubung ke alat NI (*national instrument*) yang disambungkan

ke personal computer melalui kabel LAN. Pengukuran temperatur di Untai Pre-FASSIP02 Mod.01 divisualisasikan oleh software *LABVIEW*. Pemasangan termokopel tipe-K yang berada pada untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 semuanya masing-masing telah diberi nama sesuai peruntukannya. Total termokopel yang dipasang pada untai Pre-FASSIP-02 berjumlah 12 titik termokopel yang dipasang pada bagian *heater*, *coil HE*, pipa, udara dan air pada *cooler*. Pada bagian *heater* dipasang 4 titik termokopel yang dipasang pada inlet, *coil heater*, tabung *heater*, dan pada outlet *heater*. Pada bagian *cooler* dipasang 4 titik yang terletak pada inlet, outlet, *coil HE*, dan pada air pendingin. Pada pipa loop dipasang 2 titik termokopel dan pada udara dipasang 2 titik termokopel. Setup eksperimen dan data geometrikal untai dijelaskan pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Eksperimental Setup

Tabel 1. Data Geometri Loop

Alat	Bentuk	Ukuran/Material
Water Cooling Tank	Silinder	Diameter 17 cm, Tinggi 73 cm (Plastik)
Heater Tank	Silinder	Diameter 10 cm, Tinggi 81 cm (Akrilik)
Coil Heat Exchanger	Silinder	Diameter 1/2 inch, panjang 75 cm (Tembaga)
Pipa Pyrex	Silinder	Diameter 1/2 inch (Kaca)
Perbedaan Ketinggian (H)	-	1,31 m
Loss Koefisien (K)	-	7,6 (4 Elbow 45°, 2 Tee, 2 Valve)
Total Panjang Pipa (L)	-	5,81 m

Matriks Eksperimen

Matriks eksperimen yang ditentukan pada penelitian laju aliran sirkulasi alam pada *heater tank* menggunakan variasi temperatur yang disetting menggunakan *solid state relay*. Untuk lamanya waktu pengambilan data ditentukan berdasarkan variasi temperatur pertama yaitu 90°C dengan mengamati berapa detik waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 90°C kemudian ditambah 3600 detik untuk kondisi *steady*. Matriks eksperimen dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Matriks Eksperimen

No.	Lama waktu Pengambilan data (Detik)	Temperatur Heater (°C)
1	19000	90
2	19000	80
3	19000	70
4	19000	60
5	19000	50
6	19000	40

Laju aliran fluida adalah panjang aliran fluida per satuan waktu. Laju aliran fluida terbagi menjadi 2 macam yaitu aliran aliran stabil (*steady*) dan aliran tidak stabil (*unsteady*). [9] Untuk mendapatkan besarnya nilai laju aliran fluida dapat menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut.

Harus diperoleh terlebih dahulu nilai dari densitas air pada *heater*, *cooler* dan sistem (ρ) dengan menggunakan persamaan (1).^[10]

$$\rho(T) = 1004,79 - 0,046(1,8T) - 0,000797(1,8T)^2 \quad (1)$$

Setelah diperoleh nilai densitas keseluruhan, kemudian mencari nilai dari viskositas dinamik dengan menggunakan persamaan (2).^[10]

$$\mu = \exp \left[\frac{(A + CT)}{(1 + BT + DT)^2} \right] \quad (2)$$

Nilai dari laju aliran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3).^[10]

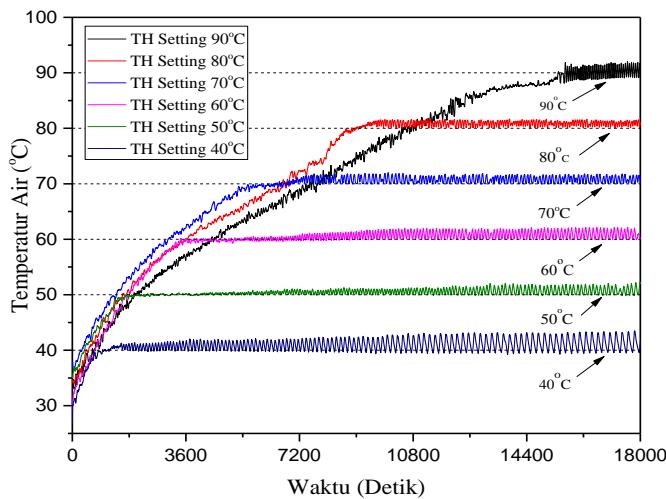
$$v = \frac{-64 \mu L + \sqrt{(64 \mu L)^2 + 8gHK \rho (\rho_c - \rho_h)D^4}}{2 D^2 \rho K} \quad (3)$$

Persamaan 3 merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung laju aliran. Persamaan tersebut menjelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai laju aliran dibutuhkan beberapa parameter yang harus diketahui. Antara lain diameter pipa (D), temperatur (T), perbedaan ketinggian antara *heater* dan *cooler* (H), total panjang loop (L), densitas air (ρ), viskositas dinamik (μ). Dan *loss koefisien* (K). untuk temperatur pada bagian *heater* menggunakan variasi 90°C, 80°C, 70°C, 60°C, 50°C, dan 40°C.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Temperatur

Eksperimen laju aliran sirkulasi alam menggunakan alat untai Pre-FASSIP-02 dengan menggunakan 6 variasi temperatur yaitu pada temperatur 90°C, 80°C, 70°C, 60°C, 50°C, dan 40°C yang semuanya dapat menunjukkan karakteristik dari temperatur air selama perekaman data. Pengambilan data dimulai pada variasi temperatur pertama yaitu 90°C. Data direkam dari temperatur air pada suhu normal atau suhu ruangan ($\pm 25^\circ\text{C}$) sampai pada temperatur yang telah disetting lalu terus direkam selama 3600 detik untuk kondisi *steady*. Variasi temperatur *heater* menunjukkan karakteristik yang berbeda-beda pada setiap grafiknya. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.

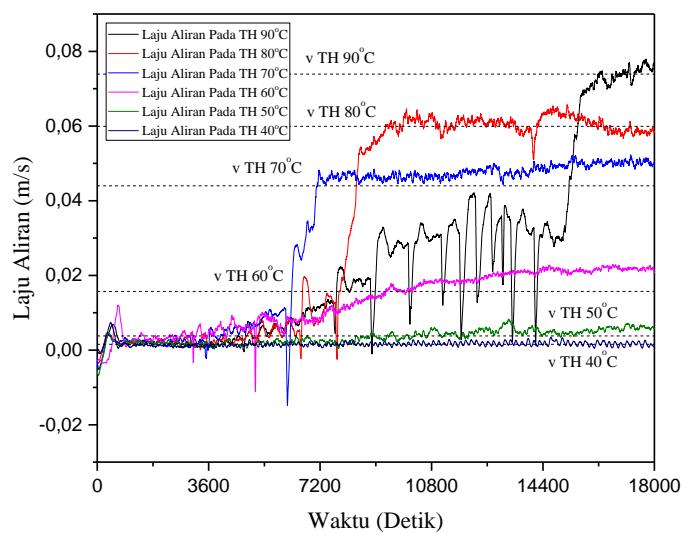


Gambar 2. Grafik Karakteristik Perbandingan Temperatur Air Terhadap Waktu Dengan Variasi Temperatur Heater 90°C - 40°C

Gambar 2 merupakan grafik karakteristik perbandingan setiap variasi temperatur *heater* terhadap waktu yang menunjukkan cepat atau lambatnya pemanasan untuk mencapai temperatur yang diinginkan hingga mencapai kondisi steady. kondisi steady dicapai karena temperatur *heater* dikontrol oleh *Solid State Relay* sehingga ketika temperatur yang sudah di setting telah tercapai otomatis temperatur tidak akan berubah lagi dan akan cenderung konstan (steady). Waktu paling lama yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi steady terdapat pada temperatur *heater* 90°C yaitu 15600 detik, sedangkan waktu paling cepat yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi steady terdapat pada temperatur *heater* 40°C yaitu 1834 detik. Ini menunjukkan bahwa pada variasi temperatur 90°C memiliki waktu pemanasan 15x lipat lebih lama dari variasi temperatur 40°C. Keseluruhan variasi temperatur *heater* menunjukkan trend grafik yang sama yaitu mengalami kenaikan lalu stabil pada kondisi steady.

Analisis Laju Aliran

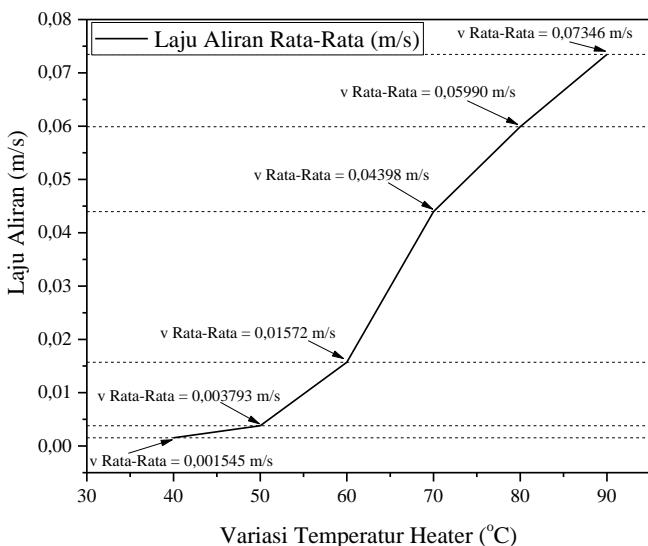
Laju aliran merupakan nilai rata-rata aliran dari inlet *heater* menuju inlet *cooler* hingga kembali lagi ke inlet *heater*. Laju aliran akan selalu berubah karena beberapa faktor. Pada analisis laju aliran ini menggunakan 6 variasi temperatur pada *heater* yaitu 90°C, 80°C, 70°C, 60°C, 50°C, dan 40°C. Tingkat laju aliran air pada Untai Pre-FASSIP02 Mod.01 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Nilai Laju Aliran Pada Seluruh Variasi Temperatur Terhadap Waktu

Gambar 3 merupakan grafik nilai laju aliran pada masing masing variasi temperatur *heater* secara spesifik. Pada semua grafik laju aliran dijelaskan rata-rata nilai laju aliran yang dapat dicapai setiap variasi temperatur *heater* saat kondisi steady. Pada temperatur *heater* 90°C memiliki nilai rata-rata laju aliran sebesar 0,073459 m/s pada temperatur *heater* 80°C memiliki nilai rata-rata laju aliran sebesar 0,05990 m/s pada temperatur *heater* 70°C memiliki nilai rata-rata laju aliran sebesar 0,04398 m/s pada temperatur *heater* 60°C memiliki nilai rata-rata laju aliran sebesar 0,01571 m/s pada temperatur *heater* 50°C memiliki nilai rata-rata laju aliran sebesar 0,003793 m/s dan pada temperatur 40°C memiliki nilai rata-rata laju aliran sebesar 0,001545 m/s. semua nilai rata-rata laju aliran yang diperoleh dapat menunjukkan bahwa dari variasi temperatur *heater* yang tertinggi (90°C) sampai yang terendah (40°C) nilai rata-rata laju aliran mengalami penuruan seiring dengan variasi temperatur *heater* yang digunakan semakin kecil.

Setelah semua nilai laju aliran diperoleh. Maka, sebelum melakukan penarikan kesimpulan dilakukan visualisasi dalam bentuk Grafik mengenai hubungan nilai laju aliran dengan variasi temperatur *heater*. Nilai laju aliran yang diambil yaitu nilai laju aliran rata-rata pada kondisi steady. Hubungan nilai laju aliran rata-rata dengan variasi temperatur *heater* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Nilai Laju Aliran Terhadap Variasi Temperatur Heater

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara nilai laju aliran rata-rata terhadap seluruh variasi temperatur *heater*. Nilai laju aliran rata-rata diambil ketika pengukuran temperatur mencapai kondisi *steady*. Terlihat pada Grafik nilai laju aliran menunjukkan *trend* kenaikan dari setiap variasi temperurnya. Kenaikan nilai laju aliran terjadi pada 0,001545 m/s pada variasi temperatur *heater* 40°C sampai pada nilai laju aliran sebesar 0,07346 m/s pada variasi temperatur *heater* 90°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar variasi temperatur *heater* maka akan semakin besar pula nilai laju aliran yang diperoleh. Karena semakin tingginya variasi temperatur *heater* maka akan semakin besar pula selisih temperatur yang didapat antara *heater* dan *cooler*. Tingginya perbedaan temperatur tersebut akan diikuti juga oleh tingginya nilai densitas dan juga viskositas dinamiknya.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada makalah yang menjelaskan tentang analisis laju aliran pada tangki pemanas berdasarkan variasi temperatur *heater*. Dapat dinyatakan bahwa Data dan hasil berupa perhitungan dan grafik laju aliran pada masing masing variasi temperatur *heater* menunjukkan bahwa laju aliran tertinggi ada pada variasi temperatur *heater* 90°C (0,073459 m/s) sedangkan laju aliran terendah ada pada temperatur *heater* 40°C (0,001545 m/s). Ini menunjukkan bahwa pada variasi temperatur *heater* 90°C memiliki beda temperatur antara *heater* dan *cooler* yang tinggi sehingga nilai densitas dan viskositas dinamiknya juga tinggi. Tingginya densitas dan viskositas dinamik pada variasi temperatur *heater*

90°C akan berdampak pada tingginya nilai laju aliran yang diperoleh. Sebaliknya, pada variasi temperatur *heater* 40°C memiliki beda temperatur antara *heater* dan *cooler* yang rendah sehingga memiliki nilai densitas dan viskositas dinamik yang rendah. Nilai laju aliran yang diperoleh akan kecil. Besar kecilnya variasi temperatur *heater* sangat berpengaruh pada besar kecilnya nilai laju aliran yang diperoleh.

Penghargaan

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kepala PTRKN BATAN atas izinnya untuk pelaksanaan penelitian tugas akhir. Terimakasih disampaikan kepada staff laboratorium Termohidrolik PTKRN BATAN dan laboratorium Mekanika Struktur FTS UIKA Bogor atas bantuan selama penelitian tugas akhir. Kegiatan penelitian didanai oleh program INSINAS Flagship dari KEMENRISTEKDIKTI dengan nomor kontrak 06/INS-1/PPK/E4/2019..

Referensi

- [1]. PANDE M U dan SURIP W, 2012, Penentuan Koefisien Dispersi Atmosferik untuk Analisis Kecelakaan Reaktor PWR di Indonesia, Jurnal Teknik Reaktor Nuklir, Volume 14 No.2 Hal. 121-132. Serpong.
- [2]. MAHRAN N. dkk, 2015, Analisis Untuk Kerja Pemanas Dan Pendingin Di Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif, Sigma Epsilon, Volume 11 No.2 Hal. 92-101. Serpong.
- [3]. ESHITA P. et al, 2016, Experimental And CFD Simulation Of Fluid Flow And Temperature Distribution In Natural Circulation Driven Passive Moderator Cooling System Of An Advance Nuclear Reactor, Chemical Engineering Science, Volume 155 Hal 45-64 India.
- [4]. R.B. DUFFEY and J.P. SURSOCK., 1987, Natural Circulation Phenomena Relevant To Small Breaks And Transients, Nuclear Engineering and Design, Volume 102 Hal 115-128 , Amsterdam.
- [5]. M. PENG. et al, 1996, Two Passive System In A 200 MW Demonstration Nuclear Heating Plant, Nuclear Engineering And Design, Volume 160 Hal 213-220, Beijing.
- [6]. M. JUARSA, et al, 2014, Preliminary Study on Mass Flow Rate in Passive Cooling Experimental Simulation During Transient

Using NC-Queen Apparatus, Atom Indonesia, Juarsa, et al. / Atom Indonesia Vol. 40 No. 3. DOI : <https://doi.org/10.17146/aij.2014.333>. Diakses pada tanggal 21 Juli 2019

- [7]. M. JUARSA, et al , 2018, An Experimental Analysis on Nusselt Number of Natural Circulation Flow in Transient Condition Based on the Height Differences between Heater and Cooler, Atom Indonesia Vol. 44 No. 3 123 – 130. DOI : <https://doi.org/10.17146/aij.2018.876>. Diakses pada tanggal 21 Juli 2019
- [8]. AHMAD R S, dkk, 2018, "Estimasi Perubahan Kalor Selama Kenaikan Temperatur Air Di Untai Pre-FASSIP-02", Sigma Epsilon, Volume 22 Hal 35-41, Serpong.
- [9]. ANHAR R, et al, 2018, Simulation Of Operational Conditions of FASSIP-02 Natural Circulation Cooling System Experimental Loop, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 19, No.1, Hal : 41-54.
- [10]. M Juarsa, A R Antariksawan, M H Kusuma, D Haryanto, N Putra, 2018, Estimation of Natural Circulation Flow Based on Temperature in the FASSIP-02 Large Scale Test Loop Facility, Earth and Environmental Science, Vol 105.