

KOMISIONING PEMANAS LISTRIK PADA HEATING TANK SECTION HELICAL PIPE HEAT EXCHANGER

Dedy Haryanto, Arif Adtyas Budiman, Muhammad Ganjar Putra, Putut Hery Setiawan,
Mulya Juarsa

Pusat Riset dan Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN), Organisasi Riset Tenaga Nuklir,
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan Sain dan Teknologi BJ. Habibie, Tangerang Selatan
15314, Indonesia
[dedy004@brin.go.id]

ABSTRAK

Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pendingin Pasif-03 *Nanobubbles Transparent* (FASSP-03 NT) merupakan salah satu fasilitas penelitian untuk mempelajari sistem pendinginan pasif. *Heating Tank Section* (HTS) merupakan salah satu komponen pada untai FASSIP-03 NT yang berfungsi untuk menaikkan temperatur fluida kerja, dan sebagai sumber kalor HTS menggunakan pemanas listrik tipe *immersion*. Penelitian dengan kegiatan komisioning pemanas listrik bertujuan untuk mengetahui kinerja dan karakterisasi pemanas listrik tipe *immersion* sebagai sumber kalor, sehingga saat eksperimen berlangsung dapat berjalan sesuai yang direncanakan pada matrik penelitian. Tahapan yang dilakukan adalah, melakukan eksperimen untuk mengetahui temperatur pada beberapa titik di untai FASSIP-03 NT. Pengambilan data dilakukan secara *transien* dan *steady state* terekam dan tersimpan pada komputer Data Akuisisi Sistem (DAS). Data kelistrikan pada pemanas listrik meliputi tegangan listrik dan arus listrik dicuplik dan dicatat secara manual pada interval tertentu. Hasil perhitungan diperoleh energi listrik yang digunakan sebesar 50.622.441,000 Joule. Energi listrik tersebut digunakan untuk menaikkan temperatur air sekunder HTS hingga mencapai temperatur 85 °C dalam waktu 7143 detik. Energi kalor yang dihasilkan oleh pemanas listrik sebesar 22.223.674,562 Joule dan efisiensinya sebesar 43,901 %.

Kata kunci: *Heating Tank Section*, pemanas listrik, *immersion heater*, air sekunder, fluida kerja

ABSTRACT

Passive Cooling System Simulation Facility-03 Nanobubbles Transparent Loop (FASSP-03 NT) is one of the research facilities to study passive cooling systems. The Heating Tank Section (HTS) is one of the components in the FASSIP-03 NT circuit which functions to increase the temperature of the working fluid, and as a heat source for HTS uses an immersion-type electric heater. Research with commissioning of the electric heater aims to determine the performance and characterization of the immersion-type electric heater as a heat source so that during the experiment it can run as planned in the research matrix. The steps taken were conducting experiments to determine the temperature at several points on the FASSIP-03 NT Loop. Data collection was carried out in a transient and steady-state manner recorded and stored on the Data Acquisition System (DAS) computer. Electrical data on electric heaters including electric voltage and electric current are sampled and recorded manually at certain intervals. The calculation results obtained that the electrical energy used is 50,622,441.000 Joules. The electrical energy is used to raise the temperature of the HTS secondary water to a temperature of 85 °C within 7143 seconds. The heat energy produced by the electric heater is 22,223,674.562 Joules and the efficiency is 43.901%.

Keywords: *Heating Tank Section*, electric heater, *immersion heater*, secondary water, working fluid

Corresponding author: Dedy Haryanto
Pusat Riset dan Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN), Organisasi Riset
Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Kawasan Sain dan Teknologi BJ. Habibie, Tangerang Selatan 15314,
Indonesia
E-mail: dedy004 @brin.go.id



1. PENDAHULUAN

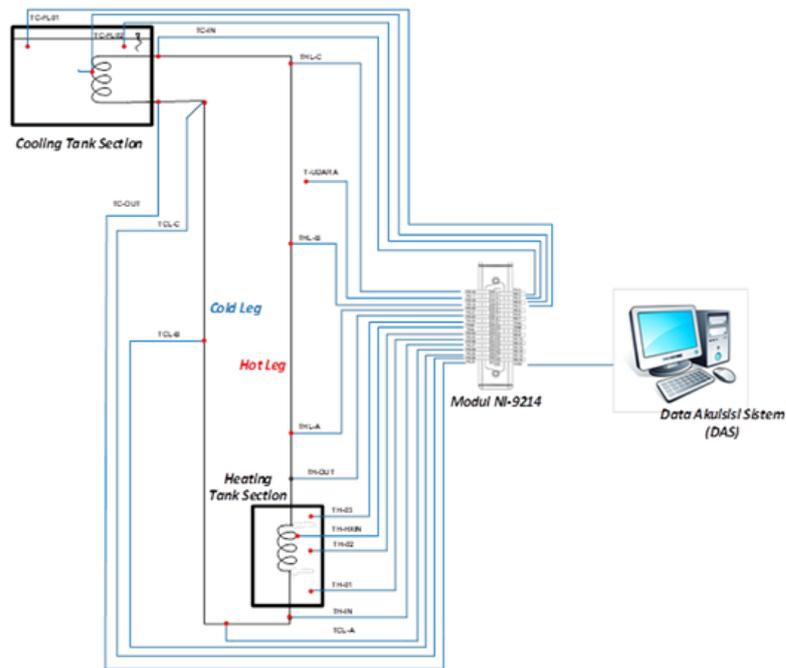
Terjadinya kecelakaan nuklir di Fukushima yang diawali oleh bencana alam gempa dan tsunami mengakibatkan terjadinya *Station Black Out* (SBO) pada instalasi nuklir. *Station Black Out* (SBO) atau tidak tersedianya catu daya listrik mengakibatkan pompa air pendingin tidak dapat berfungsi untuk menurunkan temperatur atau panas sisa (*decay heat*) pada reaktor nuklir. Berdasarkan pengalaman tersebut, maka studi tentang pendinginan sistem pasif menjadi penting untuk dipelajari. Pendingin sistem pasif adalah sistem pendinginan atau pengambilan kalor, dimana air pendingin bersirkulasi tanpa menggunakan pompa. Air pendingin bersirkulasi secara alami karena perbedaan densitasnya. Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pendingin Pasif-03 *Nanobubbles Transparent* (FASSP-03 NT) merupakan salah satu fasilitas penelitian untuk mempelajari sistem pendinginan pasif [1-3]. *Heating Tank Section* (HTS) merupakan salah satu komponen pada untai FASSIP-03 NT yang berfungsi untuk menaikkan temperatur fluida kerja, dan sebagai sumber kalor HTS menggunakan pemanas listrik tipe *immersion*.

Penelitian dengan kegiatan utama komisioning pemanas listrik ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan karakterisasi pemanas listrik tipe *immersion* sebagai sumber kalor, sehingga saat eksperimen berlangsung dapat berjalan sesuai yang direncanakan pada matrik penelitian. Pemanas listrik sering digunakan untuk penelitian-penelitian sebagai sumber kalor. Beberapa penelitian tersebut adalah; sistem pengendali pemanas pemanggang kopi dengan logika *fuzzy*. Pada penelitian ini dibuat aturan-aturan *fuzzy* yang dibangun berdasarkan keahlian atau pengalaman seorang operator *roasting* biji kopi menggunakan pemrograman bahasa C sehingga proses *roasting* biji kopi dapat bekerja secara otomatis [4]. Penelitian lainnya yang menggunakan pemanas listrik sebagai sumber kalor adalah penelitian pengeringan sampah menggunakan metode *frying*. *Evaporator rotary* skala laboratorium yang dimodifikasi memiliki penangas minyak dengan kapasitas 5 liter minyak sebagai alat *frying*. Sebagai sumber kalor menggunakan elemen pemanas listrik dengan kekuatan 2 kW yang terendam di bagian bawah tangki dan pengontrol suhu dengan kisaran suhu 30–280 °C. Metode ini mampu mengeringkan sampah dengan cepat dan menghasilkan produk kering yang aman untuk dibakar [5]. Penelitian tentang sistem pendingin pasif menggunakan fasilitas *test loop* skala besar yang diberi nama FASSIP-02 loop, dengan ketinggian 11 meter antara sumber panas dan sumber pendingin. Sebagai sumber panas menggunakan pemanas listrik tipe *immersion* sebanyak 4 buah dengan masing-masing daya listrik 5 kW. Pada penelitian ini dapat menghasilkan sirkulasi alami, dimana sirkulasi ini tidak memerlukan pompa untuk mengalirkan fluida kerja [6-8].

Tahapan yang dilakukan dalam komisioning pemanas listrik tipe *immersion* pada HTS untai FASSIP-03 NT adalah, melakukan eksperimen untuk mengetahui temperatur pada beberapa titik di untai FASSIP-03 NT. Pengambilan data dilakukan secara *transient* dan *steady state*, dimana data berupa temperatur dan laju alir (*flowrate*) terekam dan tersimpan pada komputer Data Akuisisi Sistem (DAS). Data kelistrikan pada pemanas listrik meliputi tegangan listrik dan arus listrik dicuplik dan dicatat secara manual pada interval tertentu. Pengolahan data kelistrikan pemanas listrik meliputi perhitungan dan pembuatan grafik dilakukan menggunakan *software* Matlab dan Origin [9-10].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimen pada kondisi *transient* menggunakan untai FASSIP-03 NT untuk pengambilan data temperatur pada fluida kerja dan air sekunder, data temperatur udara (lingkungan) serta data laju alir pada fluida kerja. Data-data tersebut dicuplik menggunakan termokopel tipe K dan modul yang diproduksi oleh *National Instrument* serta terekam dan tersimpan pada komputer data akuisis sistem, diagram pengambilan data ditampilkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Diagram skematik sistem Untai FASSIP-03 NT beserta pemasangan termokopel [11].

Sedangkan data kelistrikan pada pemanas listrik tipe *immersion* dicatat secara manual dengan interval waktu tertentu. Pengolahan data meliputi perhitungan dan pembuatan grafik dilakukan menggunakan *software* Matlab dan Origin. Perhitungan untuk mengetahui besar energi listrik yang digunakan oleh pemanas listrik dihitung dengan Persamaan (1) [12-13].

$$E = P t \quad (1)$$

dengan,

- t = Waktu (detik)
- P = Daya pemanas listrik (watt)
- E = Energi listrik (Joule)

Perhitungan untuk mengetahui besar energi kalor yang timbul akibat adanya energi kalor dari pemanas listrik dihitung dengan Persamaan (2) sampai dengan Persamaan (4) [12-13].

$$Q = Q_{as} + Q_{hts} + Q_{loss} \quad (2)$$

$$Q = (m_{as}c_{as}(T_2 - T_1)) + (m_{hst}c_{hts}(T_2 - T_1)) + qt \quad (3)$$

dimana,

$$q = \left(\frac{2\pi (T_2 - T_{udara})}{\frac{1}{r_1 h_{air}} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{k} + \frac{1}{r_2 h_{udara}}} \right) \times L \quad (4)$$

dengan,

- m_{as} = Masa air sekunder (kg)
- c_{as} = Kalor jenis air (J/ (kg °C))
- m_{hts} = Masa HTS (kg)
- c_{hts} = Kalor jenis SS 304 (J/ (kg °C))
- Q_{as} = Energi kalor yang diserap oleh air sekunder HTS (J)
- Q_{hts} = Energi kalor yang diserap oleh HTS (J)
- T_1 = Temperatur awal air sekunder HTS (°C)
- T_2 = Temperatur akhir air sekunder HTS (°C)
- Q = Perubahan Laju Energi Kalor (W)
- L = Panjang pipa (m)
- T_{udara} = Temperatur udara (lingkungan) (°C)
- r_1 = Jari-jari luar tabung HTS (m)
- r_2 = Jari-jari dalam tabung HTS (m)
- K = Konduktivitas SS304 (W/m °C)
- h_{air} = Konveksi alami air (W/m² °C)
- Q = Energi kalor (Joule)

Koefisien konduktivitas dan konveksi alami beberapa material dibutuhkan untuk perhitungan pada Persamaan (4) dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Konduktivitas termal dan konveksi alami beberapa material [14]

Material	Konduktivitas termal (k) (W/m °C)	Konveksi alami (h) (W/m ² °C)
<i>Logam</i>		
Aluminium murni	204	
Baja karbon	54	
Baja krom	15,1	
Tembaga murni	386	
Stainless Steel 304	14,9	
<i>Non logam</i>		
Asbes lembaran	0,166	
Karton gelombang	0,064	
Glass Wool	0,038	
Rock Wool	0,040	
Kapuk	0,035	
Silika Aerogel	0,024	
Kayu Balsa	0,055	

Material	Konduktivitas termal (k) (W/m °C)	Konveksi alami (h) (W/m ² °C)
Air		1000
Udara		6

(lanjutan)

Sedangkan untuk mengetahui efisiensi yang dimiliki oleh pemanas listrik tipe *immersion* dihitung menggunakan Persamaan (5) [12-13].

$$Eff_{EH} = \frac{Q}{E} \times 100\% \quad (5)$$

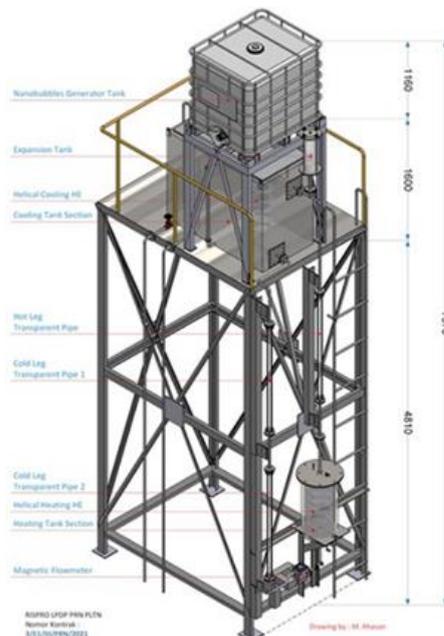
dengan,

E = Energi listrik (Joule)

Q = Energi kalor (Joule)

Eff = Efisiensi *immersion heater* (%)

Perhitungan yang dilakukan adalah untuk mengetahui efisiensi pemanas listrik tipe *immersion* pada HTS yang dilengkapi dengan *helical pipe heat exchanger* menggunakan pipa berdiameter 1 inci dengan panjang total 5,5 meter.



Gambar 1. Untai fasilitas simulasi sistem pendingin pasif-03 *Nanobubbles Transparent*. (FASSP-03 NT) [11].

Penelitian ini merupakan kegiatan komisioning sebelum dilakukan “studi peningkatan performa laju aliran sirkulasi alami berdasarkan variasi *straight pipe fins heat exchanger* pada kondisi tunak menggunakan fasilitas eksperimen untai pendingin pasif skala medium”. Pemanas listrik pada HTS yang sebelumnya menggunakan tipe *ceramic band heater* diganti dengan tipe *immersion*. Penggantian pemanas listrik bertujuan untuk lebih mengefektifkan terjadinya konversi energi dari energi listrik ke energi kalor. Dimana energi kalor yang dihasilkan digunakan untuk meningkatkan temperatur air sekunder pada HTS. Selanjutnya

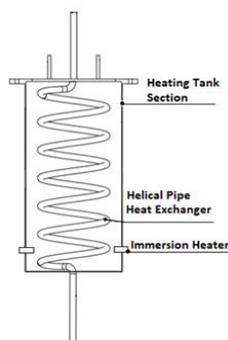
melalui perpindahan kalor secara konveksi dan konduksi, energi kalor tersebut meningkatkan temperatur air primer pada HTS atau fluida kerja untai FASSIP-03 NT. Hal ini menyebabkan densitas fluida kerja menurun sehingga terjadi gaya apung (*buoyancy force*) mengakibatkan fluida kerja mengalir menuju ke *Cooling Tank Section* (CTS). Pada CTS, fluida kerja mengalami pelepasan kalor sehingga temperaturnya turun dan akibatnya densitas fluida kerja naik. Adanya gaya gravitasi (*gravity force*) berakibat fluida kerja mengalir ke HTS, dimana posisi HTS berada pada level yang lebih rendah daripada CTS [16]. Kejadian tersebut adalah sirkulasi alami yang terjadi pada untai FASSIP-03 NT sebagai fasilitas eksperimen pendingin pasif berskala medium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada tahun 2021 telah dibangun fasilitas eksperimen sistem pendingin pasif untai FASSIP-03 NT di laboratorium Thermofluida Nuklir, Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir dengan spesifikasi yang tampak pada Tabel 2 sebagai berikut;

Tabel. 2. Spesifikasi data untai FASSIP 03 NT [11]

Komponen	Bentuk	Size/Material
<i>Cooler Tank Section</i>	<i>shape</i>	1 m x 2 m x 1.5 m (carbon steel, t= 5 mm)
<i>Heating Tank Section</i>	<i>cylinder</i>	Dia. 20 inchi, Sch.40, h= 800 mm (SS 304)
<i>Pipe</i>	<i>cylinder</i>	Dia. 1 inchi, Sch.40 (SS 304)
<i>Transparent pipe</i>	<i>cylinder</i>	Dia. 1 inchi, Pyrex
<i>Heat exchanger tube</i>	<i>cylinder</i>	Outside Dia. 1 inchi, (Copper, SS 304)
<i>Heater (4 pieces)</i>	<i>immersion</i>	P=2 kW (total 8 kW)
<i>Height differences (H)</i>	-	3050 mm
<i>Total loop length (L)</i>	-	11710 mm
<i>Total loss coef. (K)</i>	-	8.4

Heating Tank Section (HTS) merupakan salah satu komponen dari untai FASSIP-03 NT yang berfungsi untuk meningkatkan temperatur fluida kerja. HTS memiliki dua bagian yaitu bagian primer dan bagian sekunder. Bagian primer berupa pemipaan yang terhubung dengan pemipaan untai FASSIP-03 NT didalamnya terisi fluida kerja. Sedangkan pada bagian sekunder terdapat pemanas listrik dan air sekunder sebagai media penghantar kalor dari pemanas listrik sebagai sumber kalor ke fluida kerja. HTS yang dilengkapi dengan *helical pipe heat exchanger* dan pemanas listrik tipe *immersion* berjumlah 4 buah dengan masing-masing berdaya 2 kW ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Desain *heating tank section* [11].

Immersion heater adalah jenis pemanas listrik yang digunakan untuk meningkatkan temperatur cairan seperti air, minyak, oli, resin, larutan garam, gula, kimia, lilin, aspal, parafin,

dan bahan - bahan padat dengan sifat titik lebur rendah dengan cara dicelupkan atau direndamkan dalam cairan tersebut. Kelebihan *immersion heater* yaitu konstruksi produk bisa disesuaikan dengan kebutuhan, baik dari segi *heavy duty* dan *lifetime*. Sedangkan kekurangannya adalah pada kondisi pemakaian *immersion heater* harus dalam kondisi terendam jika *heatzonenya* tidak terendam berakibat *overheat* pada cairan yang seharusnya merendamnya dan terjadi *over voltage* [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

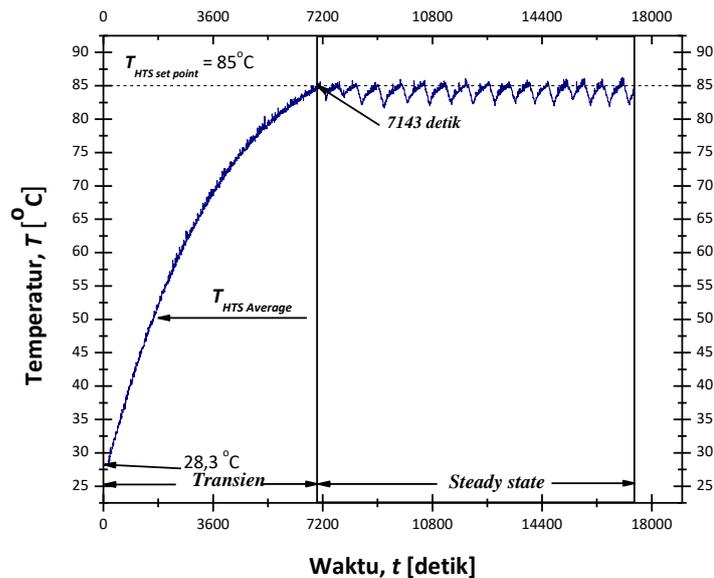
Data kelistrikan pemanas listrik tipe *immersion* meliputi tegangan dan arus diukur dan dicatat secara manual dengan interval 10 menit. Data tersebut diambil pada saat kondisi *transient*, yaitu saat air sekunder HTS mengalami kenaikan temperatur hingga mencapai temperatur yang telah ditentukan yaitu 85 °C. Data tersebut disajikan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Data kelistrikan *electrical heater* tipe *immersion* pada kondisi *transien* mencapai Temperatur 85 °C

No	Waktu (menit)	I ₁ (Amp)	I ₂ (Amp)	I ₃ (Amp)	I ₄ (Amp)	V ₁ (Volt)	V ₂ (Volt)	V ₃ (Volt)	V ₄ (Volt)	P ₁ (kW)	P ₂ (kW)	P ₃ (kW)	P ₄ (kW)
1	0	8.300	8.000	8.100	7.900	219	219	219	219	1.818	1.752	1.774	1.730
2	10	8.100	8.100	8.500	8.200	218	218	219	218	1.766	1.766	1.862	1.788
3	20	8.100	8.300	8.300	7.800	218	218	218	218	1.766	1.809	1.809	1.700
4	30	8.300	8.200	7.900	8.100	218	218	218	218	1.809	1.788	1.722	1.766
5	40	8.000	8.100	8.100	8.300	217	218	218	218	1.736	1.766	1.766	1.809
6	50	8.200	7.900	8.000	8.100	218	218	218	218	1.788	1.722	1.744	1.766
7	60	8.300	7.800	8.300	8.100	218	218	218	218	1.809	1.700	1.809	1.766
Daya rata-rata Heater										1.785	1.758	1.784	1.761
Daya total rata-rata Heater										7.087			

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa daya masing-masing pemanas listrik tipe *immersion* kurang dari 2 kW, sehingga daya total rata-rata pemanas tersebut kurang dari 8 kW yaitu sebesar 7,087 kW. Hal ini terjadi dapat dikarenakan tegangan listrik yang disediakan oleh PLN mengalami penurunan atau kualitas pemanas tersebut yang kurang baik. Data hasil pengukuran temperatur rata-rata air sekunder HTS pada kondisi *transient* dan *steady state* disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, terlihat temperatur awal air sekunder HTS sebesar 28,3 °C dan mengalami kenaikan hingga mencapai 85 °C dalam waktu 7143 detik, dimana kondisi tersebut adalah kondisi *transient*. Selanjutnya temperatur air sekunder HTS pada kondisi *steady state* pada 85 °C. Pada kondisi *steady state* temperatur mengalami fluktuatif dengan rata-rata temperatur tertinggi 85 °C. Hal ini terjadi karena pengontrolan temperatur menggunakan *software* LabView dilakukan dengan cara on/off pada keempat pemanas listrik sehingga terjadi fluktuatif pada temperatur. Seharusnya pengontrol dapat dilakukan dengan cara sebuah pemanas listrik on/off sehingga tidak terjadi fluktuatif pada temperatur yang cukup besar seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Garfik temperatur pada untai FASSIP-03 NT pada kondisi *transient* dan *steady state*

Kinerja pemanas listrik tipe *immersion* dapat diketahui dengan melakukan beberapa tahapan perhitungan. Tahap pertama adalah dengan melakukan perhitungan untuk mengetahui besar energi listrik (E) yang digunakan oleh pemanas listrik tersebut. Perhitungan ini dilakukan menggunakan Persamaan (1). Tahap kedua adalah perhitungan untuk mengetahui besar energi kalor yang dihasilkan oleh pemanas listrik. Energi kalor yang dihasilkan meliputi energi kalor yang diserap oleh air sekunder (Q_{as}), energi kalor yang diserap oleh HTS yang bermaterial SS 304 (Q_{hts}), dan energi kalor yang diserap oleh lingkungan (Q_{loss}). Energi total (Q) diketahui dengan menjumlahkan ketiga energi kalor yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan pada tahap kedua ini dilakukan menggunakan Persamaan (2) sampai dengan Persamaan (4). Tahap ketiga yaitu perhitungan untuk mengetahui efisiensi pemanas listrik, perhitungan ini dilakukan menggunakan Persamaan (5). Seluruh perhitungan dilakukan menggunakan *software* Matlab dengan hasil perhitungan diperlihatkan pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Hasil perhitungan untuk mengetahui kinerja pemanas listrik tipe *immersion*

E (Joule)	Q_{as} (Joule)	Q_{hts} (Joule)	Q_{loss} (Joule)	Q (Joule)	Eff (%)
50.622.441,000	21.507.860,873	715.813,689	404,883	22.223.674,562	43,901

Hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa, pemanas listrik tipe *immersion* dengan spesifikasi tegangan 220 volt dan daya 2 kW menggunakan energi listrik sebesar 50.622.441,000 Joule. Energi listrik tersebut digunakan untuk menaikkan temperatur air sekunder HTS dengan masa 89,683 kg hingga mencapai temperatur 85 °C dalam waktu 7143 detik. Energi kalor yang diserap oleh air sekunder HTS sebesar 21.507.860,873 Joule, energi kalor yang diserap oleh body HTS sebesar 715.813,689 Joule dan *heat loss* kelingkungan sebesar 404,883 Joule. Sehingga energi kalor yang dihasilkan oleh pemanas listrik sebesar 22.223.674,562 Joule dan efisiensinya sebesar 43,901 %. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menghasilkan efisiensi sebesar 43,901 %, dapat disimpulkan bahwa

kinerja pemanas listrik tipe *immersion* yang digunakan pada HTS untai FASSIP-03 NT mempunyai kinerja yang kurang bagus. Pemanas listrik ini membutuhkan waktu 7143 detik (hampir 2 jam), cukup lama untuk menaikkan temperatur air sekunder HTS. Semakin lama air sekunder mencapai temperatur 85 °C (temperatur *setting*) maka *heat loss* yang terjadi semakin besar. Hal ini terjadi karena daya pemanas listrik tidak sesuai dengan spesifikasinya, daya listrik total hasil pengukuran sebesar 7,087 kW sedangkan spesifikasi daya listrik total 8 kW. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan maka direkomendasikan agar 4 buah pemanas listrik tipe *immersion* tersebut diganti dengan pemanas listrik dengan daya yang sesuai dengan spesifikasinya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanas listrik tipe *immersion* diaplikasikan pada HTS untai FASSIP-03 NT sebagai sumber kalor. Hasil perhitungan yang diperoleh berdasarkan data tegangan dan arus listrik hasil pengukuran, energi listrik yang digunakan sebesar 50.622.441,000 Joule. Energi listrik tersebut digunakan untuk menaikkan temperatur air sekunder HTS hingga mencapai temperatur 85 °C dalam waktu 7143 detik. Energi kalor yang dihasilkan oleh pemanas listrik sebesar 22.223.674,562 Joule dan efisiensinya sebesar 43,901 %. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa kinerja pemanas listrik tipe *immersion* yang digunakan pada HTS untai FASSIP-03 NT mempunyai kinerja yang kurang bagus.

Disarankan agar 4 buah pemanas listrik tipe *immersion* tersebut diganti dengan pemanas listrik dengan daya yang sesuai dengan spesifikasinya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) Gelombang 1 LPDP Mandatori KEMENKEU-BRIN periode 2022 – 2025 (3 tahun) dengan nomor kontrak: B-811/II.7.5/FR/6/2022 dan B-2103/III.2/HK.04.03/7/2022 dengan judul penelitian utama: Inovasi Teknologi Pendingin Pasif Berbasis Fluida *Nanobubbles* Dan *Nanofluids* pada Aspek Manajemen Termal untuk Peningkatan Keselamatan PLTN Tipe Besar dan SMR. Terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Riset dan Teknologi Reaktor Nuklir, Kepala Kelompok Riset Sistem Termofluida Reaktor Nuklir dan teman-teman Peneliti dan Pengembang Teknologi Nuklir atas diskusi teknis.

REFERENSI

- [1] A. R. Antariksawan, S. Widodo, M. Juarsa, D. Haryanto, M. H. Kusuma, N. Putra, "Numerical Study on Natural Circulation Characteristics in FASSIP-02 Experimental Facility Using RELAP5 Code," *2nd International Tropical Renewable Energy Conference (i-TREC) 2017, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105*, 2018.
- [2] M. Juarsa, A. Goeritno, A. Suheri, I. Sumirat, D. Saptoadi, dan A. Nurcahyo, "Studi Eksperimental laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut kemiringan Untai pada Kasus Sirkulasi Alamiah Menggunakan Untai Sirkulasi Alamiah (USSA-FT01)." *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, vol. ,01 no. 01, hal.22-30, 2011.
- [3] H. Tjahjono, "Comprehensive Prediction of Thermosyphon Characteristics in Reactor Passive Cooling System Simulation Loop FASSIP-01." *Atom Indonesia*, vol. 43, no. 3, hal. 157-166, 2017.

- [4] E. J. Pristianto, H. Arisesa, dan A. N. Rahman, "Sistem Pengendali Pemanas Pemanggang Kopi Menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal INKOM*, vol. 10, no. 2, hal. 67-74, November 2016.
- [5] F. S. Watu, E. Naryono, "Studi Literatur Pemanfaatan Campuran Minyak Jelantah dan Plastik Untuk Meningkatkan Karakteristik Bakar Sampah Organik dengan Metode Frying," *Jurnal Teknologi Separasi Distilat*, vol. 6, no. 2, hal. 391-400, 2020.
- [6] M. Juarsa, A. R., Antariksawan, M. H. Kusuma, N. Putra, P. P. Moniaga, "Preliminary Investigation on Natural Circulation Flow using CFD and Calculation Base on Experimental Data Pre-FASSIP-02," *Symposium of Emerging Nuclear Technology and Engineering Novelty, IOP Conf. Series: Journal of Physics*, 2018.
- [7] D. Haryanto, Giarno, J.P. Witoko, S. Hatmoko, K. Santosa, M. Juarsa, M.H. Kusuma, A. R. Antariksawan, N. Putra, "Analisis Kekuatan Mekanik Water Cooling Tank Pada Fasilitas Uji Untai PASSIF-02 Menggunakan CATIA," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin POROS*, vol. 16, no. 1, 2018.
- [8] L. F. Ningsih, A. R. Sofyan, Giarno, D. Haryanto, J. P. Witoko, M. Juarsa, "Estimasi Perhitungan Kalor dan Laju Aliran Kalor pada Untai FASSIP-02," *Sigma Epsilon*, vol. 22, no. 1, hal. 26-34, 2018.
- [9] A. Kadir, *Dasar Pemrograman Matlab*, Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2019.
- [10] Suarga, *Fisika Komputasi Solusi Problema Fisika dengan Matlab*, Yogyakarta: ANDI, 2005.
- [11] D. Haryanto, A. Rosidi, P. H. Setyawan, M. Juarsa, "Efisiensi Heating Tank Section pada Kondisi Tunak Berdasarkan Variasi Daya Pemanas," *Prosiding Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK)*, hal. 0013 – 0019, 18 Januari 2023.
- [12] Y. A. Cengel, *Heat Transfer a Practical Approach*, Second Edition, New York: McGraw-Hill, 1998.
- [13] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, A. S. Lavine, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [14] J. P. Holman, *Perpindahan Kalor*, Edisi Keenam, Jakarta: Erlangga, 1997.
- [15] PT Usaha Saudara Mandiri, "Apa Itu Immersion Heater Dan Bagaimana Cara Perawatannya," [Online]. Tersedia: <https://unitedheater.co.id/id/articles/apa-itu-immersion-heater-dan-bagaimana-cara-perawatannya> [Diakses: Juli 2023].
- [16] D. Haryanto, Giarno, G. B. H. Kusnugroho, A. Rosidi, M. Juarsa, "Mechanical Strength Analysis on Heating Tank Section in the FASSIP-03 NT Loop Based on Computer-Aided Simulation," *Proceeding The 4th International Conference on Nuclear Energy Technologies and Sciences (ICoNETS)*, hal. 20-28, 02 Agustus 2022.