

## Karakteristik Perubahan Temperatur Bagian Pendingin Selama Sirkulasi Alam untuk Kondisi Tunak pada Untai Uji FASSIP-02

Esa Putra A.R.<sup>a</sup>, Giarno<sup>b</sup>, Adhika Enggar P.<sup>c</sup>, G.B. Heru K.<sup>d</sup>, Andrea Shevaladze A.A.<sup>e</sup>, Mulya Juarsa<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta  
e-mail: esa.putra416.ep@gmail.com

<sup>b,c,d,f</sup> Laboratorium Termohidrolika Eksperimental, Pusat Riset dan Teknologi Reaktor, Keselamatan, dan Keamanan Nuklir (PRTRKKN), Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Gd.80, Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan 15314, Banten.  
e-mail: juars@batan.go.id

<sup>e</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas  
e-mail: esa.putra416.ep@gmail.com

### Kata kunci:

Tangki Pendingin  
Karakterisasi  
Perubahan Suhu  
Sirkulasi Alami  
Kondisi Tunak  
Fassip-02 Test Loop

### ABSTRAK

Tangki pendingin merupakan salah satu bagian dari fasilitas FASSIP-02 *Test Loop Strand* yang merupakan sistem pendingin untuk melepaskan panas ke lingkungan. Fasilitas eksperimental skala besar FASSIP-02 *Test Loop Strand* dibangun untuk pengembangan sistem keamanan berbasis pendinginan pasif yang memanfaatkan aliran sirkulasi alami. Salah satu hal yang menarik untuk dibahas adalah proses pemanasan, tunak, dan pendinginan yang terjadi pada bagian pendinginan selama percobaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik historis dari perubahan suhu selama proses transien pemanasan, keadaan tunak, dan transien pendinginan di bagian pendinginan. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan perubahan kondisi awal *setting* temperatur air pada bagian pemanasan bervariasi dari 40 °C, 50 °C dan 60 °C. Semua pengukuran dilakukan selama 24 jam menggunakan sistem akuisisi data instrumentasi nasional dengan *sampling rate* 1 data per detik. Percobaan dilakukan dengan cara memanaskan suhu air di dalam *heater* sampai mencapai *setting* suhu yang ditentukan, kemudian mempertahankan suhu pada keadaan tunak selama 5 jam. Selanjutnya, daya listrik ke pemanas dimatikan dan sistem dibiarkan dingin secara alami saat merekam data. Hasil yang diperoleh setelah data percobaan diolah dengan program grafik Origin 8, dimana diperoleh waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi tunak pada berbagai temperatur 40 °C, 50 °C dan 60 °C adalah 1291 detik, 2392 detik dan 3504 detik, masing-masing. Perubahan temperatur antara inlet dan outlet pada *cooler* berturut-turut adalah 5,43 °C, 9,67 °C dan 12,62 °C.

### Keyword:

Cooling Tank  
Characterization of  
Temperature Changes  
Natural Circulation  
Steady State  
Fassip-02 Test Loop

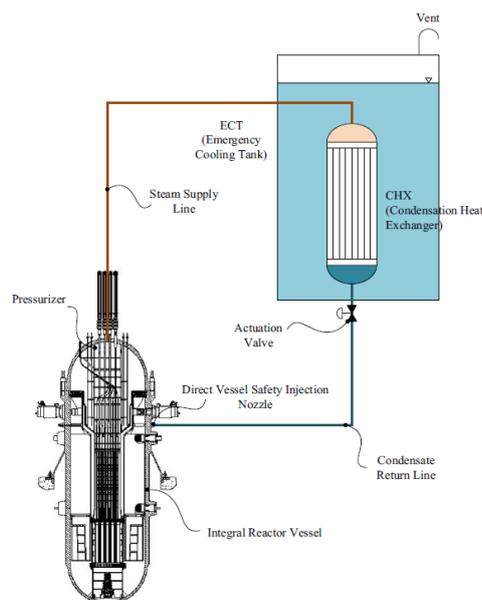
### ABSTRACT

*The cooling tank is one part of the FASSIP-02 Test Loop Strand facility which is a cooling system to release heat to the environment. The FASSIP-02 Test Loop Strand large-scale experimental facility was built for the development of passive cooling based safety systems utilizing natural circulating flows. One of the interesting things to discuss is the heating, steady and cooling processes that occur in the cooling section during the experiment. The aim of the study was to obtain historical characteristics of temperature changes during the heating transient process, steady state and cooling transients in the cooling section. The research method was carried out experimentally with changes in the initial conditions of setting water temperature in the heating section variation from 40 °C, 50 °C and 60 °C. All measurements were carried out for 24 hours using the national instrumented data acquisition system with a sampling rate of 1 data per second. The experiment was carried out by heating the water temperature in the heater until it reached the specified temperature setting, then maintaining the temperature at steady state for 5 hours. Next, the electrical power to the heater is turned off and the system is allowed to cool*

naturally while recording data. The results obtained after the experimental data were processed with the Origin 8 graph program, where it was obtained that the time required to reach steady conditions at various temperatures of 40 °C, 50 °C and 60 °C were 1291 seconds, 2392 seconds and 3504 seconds, respectively. Changes in temperature between the inlet and outlet in the cooler are 5.43 °C, 9.67 °C and 12.62 °C, respectively.

## 1. PENDAHULUAN

Studi eksperimen sirkulasi alami dalam sistem pendingin pasif pada keselamatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) banyak mengembangkan penelitian untuk memberikan keamanan dalam pengoperasian [1]–[3] mengingat terjadinya kecelakaan yang melibatkan PLTN baik yang karena kesalahan pengoperasian contohnya yang terjadi di unit 2 Three Mile Island (TMI-2) [4] untuk kasus reaktor jenis Pressurized Water Reactor (PWR) dan bencana alam seperti yang terjadi di Fukushima Daiichi di Jepang yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik untuk sistem pendingin atau disebut Stasiun Blackout (SBO) sehingga terlepasnya bahan radioaktif ke lingkungan [5]. Berdasarkan kecelakaan yang melibatkan reaktor nuklir banyak peneliti yang melakukan pengembangan pada sistem pendingin reaktor nuklir untuk menggantikan sistem pendingin aktif reaktor baik dalam pengoperasian maupun kecelakaan. Sistem pendingin pasif merupakan solusi dalam pengembangan sistem pendinginan reaktor khususnya dalam mengatasi kecelakaan yang diakibatkan oleh bencana alam atau kesalahan pengoperasian [6]. Sistem pendingin pasif merupakan sistem pendingin reaktor memanfaatkan sirkulasi yang terjadi karena perbedaan temperatur untuk melakukan perpindahan kalor. Sirkulasi yang digunakan dalam melakukan perpindahan kalor pada sistem pendingin adalah dikenal sebagai sirkulasi alami. Sirkulasi alami terjadi pada fluida sehingga perpindahan kalor yang terjadi adalah konveksi [7], [8]. Perbedaan temperatur yang terjadi menyebabkan perbedaan densitas fluida pada suatu loop, jika temperatur tinggi maka densitas fluida rendah sehingga menyebabkan gaya apung sebaliknya jika temperatur rendah densitas meningkat sehingga adanya gaya gravitasi. Pengaplikasian sistem pendingin pasif banyak digunakan dalam jenis reaktor kecil modular atau yang disebut *small modular reactor* (SMR) penggunaan sistem pendingin pada SMR contohnya pada reaktor yang dikembangkan oleh Korean Atomic Energy Research Institute (KAERI) yaitu *system intrgrated modular advance reactor* (SMART) dalam penelitian yang dilakukan [9] konsep pendinginan pasif yang digunakan dalam reaktor SMART adalah *passive removal heat residual system* (PRHRS) dalam mengambil sisa panas hasil peluruhan saat kecelakaan yang melibatkan reaktor terjadi.



GAMBAR 1. Sistem pendingin PRHRS pada reaktor SMART

Sistem pendingin pada PRHRS menggunakan *emergency cooling tank* (ECT) berupa kolam pendingin yang berisi air untuk melepaskan sisa panas yang berasal dari bejana reaktor melalui *condensation heat exchanger* (CHX) sebagai pipa penukar panas dalam sistem PRHRS.

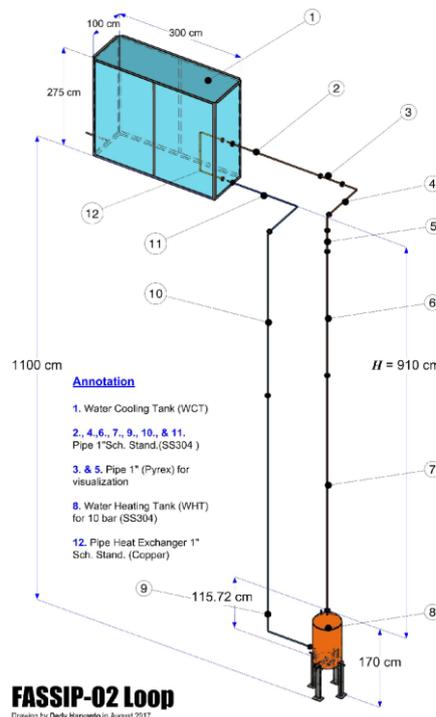
Pengembangan dan penelitian sistem pendingin model PRHRS dilakukan juga oleh tim peneliti laboratorium termohidrolika Pusat Riset Teknologi Reaktor Keselamatan, Keamanan Nuklir (PRTRKKN) Organisasi Riset Teknologi Energi Nuklir (ORTEN) yaitu fasilitas Untai Uji FASSIP-02. Untai Uji FASSIP-02 merupakan fasilitas uji fenomena sirkulasi alami berdasarkan. Sistem pendingin pada Untai Uji FASSIP-02 menggunakan kolam pendingin yang terisi air dan pipa penukar panas dengan tipe U-shape yang menerima panas yang berasal dari tangki pemanas yang letaknya lebih rendah dari tangki pendingin.

Pengujian fungsi instrumensasi alat ukur dilakukan untuk menginvestigasi kemampuan pada sistem pendingin dalam mengambil kalor yang diberikan oleh tangki pemanas sebagai simulasi panas sisa hasil peluruhan dari kecelakaan akibat SBO. Penelitian bertujuan untuk memperoleh karakterisasi perubahan temperatur yang terjadi selama eksperimen pada kondisi tunak melalui instrumensasi pengukuran temperatur agar mempermudah dalam proses analisis data hasil pengukuran dan perhitungan selama eksperimen.

## 2. METODE PENELITIAN

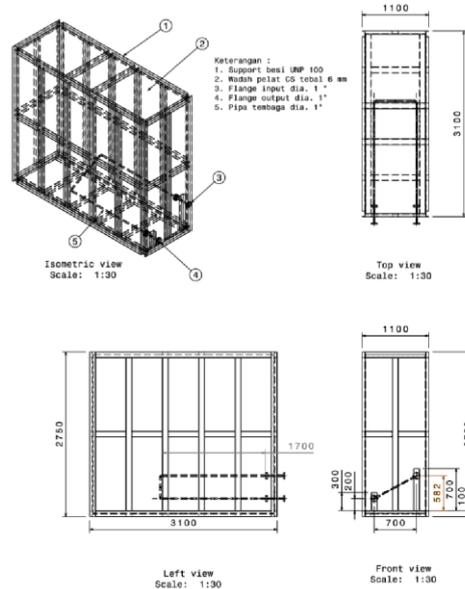
### 2.1. Desain Tangki Pendingin

Bagian dari Fasilitas Untai Uji FASSIP-02 terdapat bagian pemanas yang disebut dengan *water heating tank* (WHT) dan bagian pendingin adalah *Water Cooling Tank* (WCT). Komponen yang terdapat di bagian pendingin adalah Heat Exchanger (HE) U-shape, Expansion Tank serta pemipaan yang terdapat pada Untai Uji FASSIP-02. Desain Untai Uji FASSIP-02 dapat dilihat pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Fasilitas Untai Uji FASSIP-02

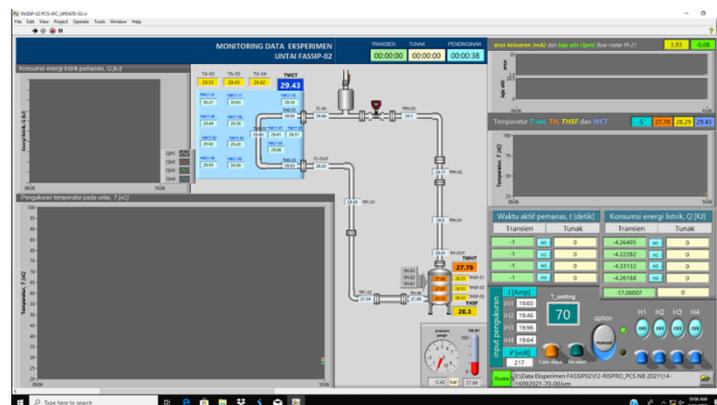
Untai Uji FASSIP-02 dirancang untuk melakukan simulasi panas sisa dengan menggunakan tangki reaktor referensi yang terdapat pemanas untuk memberikan kalor simulasi [10]. Komponen dari Untai Uji FASSIP-02 yang menjadi fokus penelitian ini adalah pada bagian pendingin. Bagian pendingin dari fasilitas Untai Uji FASSIP-02 merupakan tangki yang terisi air sebagai fluida yang melepaskan kalor sisa yang berasal dari pipa HE U-shape yang terpasang dengan kemiringan  $30^\circ$  seperti yang ditunjukkan pada desain Gambar 3 [11].



GAMBAR 3. Desain Tangki pendingin fasilitas Untai Uji FASSIP-02 [6]

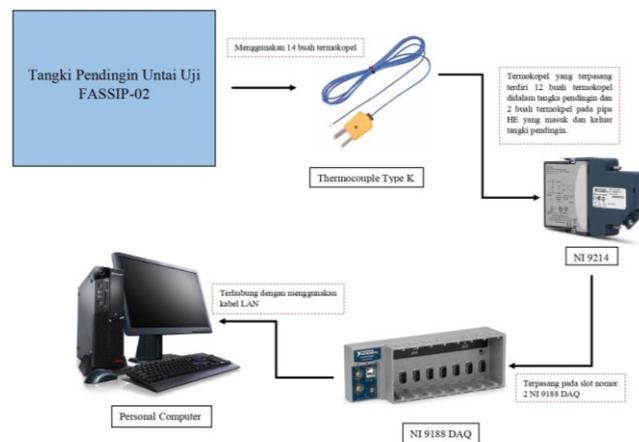
## 2.2. Instrumensasi Alat Ukur Temperatur

Karakterisasi temperatur yang dilakukan dalam penelitian menggunakan *thermocouple type K* yang menghasilkan tegangan yang ditangkap oleh modul National Instrumensasi (NI) tipe 9214. Modul NI 9214 akan merekam dan mengirimkan data ke NI DAQ 9188 melalui slot nomor 1 dan nomor 2. Monitoring pengukuran temperatur ditampilkan dalam *personal computer* (PC) melalui program LabVIEW seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



GAMBAR 4. Panel kontrol fasilitas Untai Uji FASSIP-02 dengan LabVIEW (by G.B.Heru K.)

Rangkaian instrumensasi alat ukur pada tangki pendingin termokopel dipasang pada NI9214 melalui pin 0-13 untuk melakukan pembacaan dan perekaman data temperatur selama eksperimen berlangsung. Skema instrumensasi pengukuran temperatur dapat dilihat pada Gambar 5.



GAMBAR 5. Skema instrumensiasi pengukuran temperatur Tangki pendingin.

Dalam instalasi instrumensiasi pengukuran temperatur tangki pendingin dipasang termokopel sebanyak 14 buah yang terdiri 12 buah termokopel untuk mengukur temperatur air di dalam tangki dan 2 buah termokopel untuk mengukur temperatur air dalam pipa HE yang terhubung bagian inlet dan outlet fluida pada pipa fluida kerja. Termokopel yang sudah diposisikan akan di instalasi ke NI 9214 dan setelah terinstalasi ke NI 9214, modul akan di pasang pada slot nomor 1 pada NI 9188 DAQ. Output visual untuk memonitor eksperimen yang berlangsung dan kontrol dilakukan menggunakan PC.

### 2.3. Tahapan Eksperimen

Eksperimen karakterisasi temperatur memerlukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

#### 1. Persiapan kelistrikan

Tahap ini dilakukan instalasi instrumensiasi pengukuran dan kontrol yang menggunakan 3 jenis modul NI yaitu, NI 9214 untuk pembacaan temperatur, NI 9203 modul yang dapat membaca output arus menjadi data dan NI 9476 untuk memberikan kontrol pada pemanas di tangki pemanas. Selain instalasi alat ukur, juga dilakukan instalasi pemanas pada tangki pemanas yang terhubung dengan panel kelistrikan utama Laboratorium Termohidrolika PRTRKKN- ORTN BRIN.

#### 2. Persiapan Eksperimen

Sebelum melakukan eksperimen perlu dilakukan persiapan untuk menentukan kondisi temperatur semula dengan temperatur pada tangki pendingin dan tangki pemanas pada temperatur 27<sup>o</sup> C hingga 29<sup>o</sup> C. Kondisi Untai Uji FASSIP-02 sudah dikondisikan dapat dilakukan eksperimen dengan mengaktifkan panel LabVIEW dengan menyalakan sinyal *run* untuk memulai eksperimen dan perekaman data.

#### 3. Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan variasi temperatur atur 40 °C, 50 °C dan 60 °C dengan masing-masing variasi dilakukan 3 kali eksperimen. Eksperimen pada kondisi tunak dilakukan dengan menaikkan temperatur air dengan pemberian kalor hingga mencapai temperatur kondisi tunak. Kondisi tunak berlangsung selama selama 5 jam, lalu setelah 5 jam kontrol pemanas dapat dimatikan dengan menonaktifkan sinyal catu daya ke bawah dan memasuki kondisi pendinginan. Skenario kontrol pemanasan pada tangki pemanas setiap variasi temperatur terdapat perbedaan skenario dalam mempertahankan kondisi tunak selama eksperimen berlangsung. Skenario atur pemanas ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Skenario Pemanas dalam Eksperimen

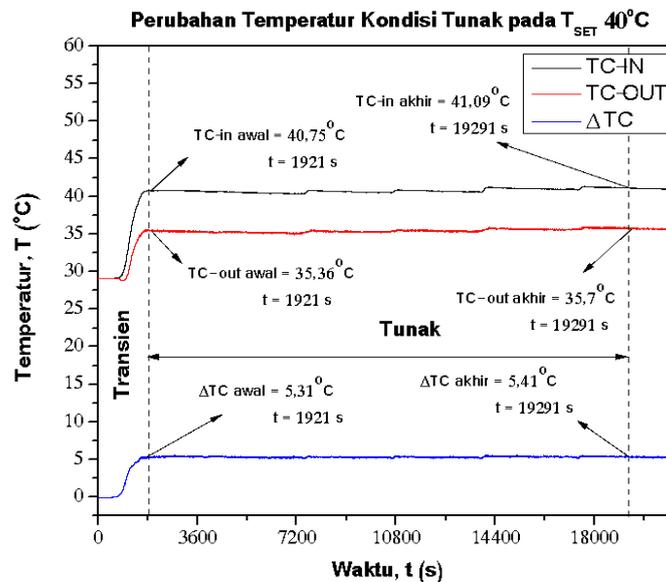
Skenario Kontrol Pemanas	Tunak		
	$T_{act} < T_{sett}$	$T_{act} \geq T_{sett}$	$T_{act} > T_{sett}$
$T_{sett} \leq 60$ °C	4 pemanas menyala	Tidak ada pemanas yang menyala	Pemanas nomor 1 dan menyala
$T_{sett} = 70$ °C	4 pemanas menyala	Pemanas nomor 3 menyala	Pemanas nomor 1, 2 dan 3 menyala
$T_{sett} \geq 80$ °C	4 pemanas menyala	Pemanas nomor 3 dan 4 menyala	4 pemanas menyala

#### 4. Pengolahan Data

Data yang telah direkam selama 24 jam tersimpan dalam format .lvm sehingga perlu dikonversi dalam bentuk excel untuk dilakukan analisis karakterisasi temperatur selama kondisi tunak dengan menggunakan program OriginPro8. Data eksperimen yang telah diolah ditampilkan dalam bentuk grafik temperatur.

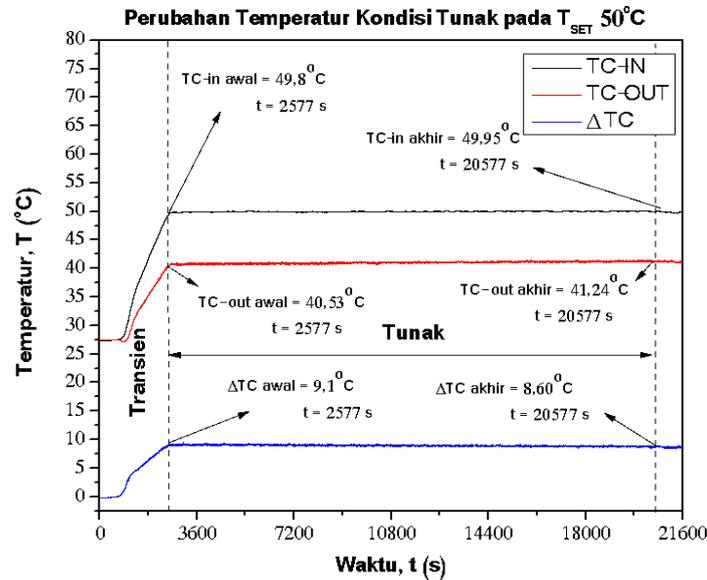
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bedasarkan metode penelitian karakterisasi temperatur pada bagian pendingin, dihasilkan kurva pengukuran temperatur selama eksperimen pada kondisi tunak. Hasil pengukuran temperatur terdiri atas temperatur yang masuk dan keluar tagki pendingin melalui pipa penukar panas U-shape serta temperatur rata-rata dalam tangki pendingin seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9. Hasil eksperimen perubahan temperatur pada eksperimen temperatur atur 40<sup>o</sup> C mulai dari awal pemanasan hingga mencapai kondisi tunak ditunjukkan dalam Gambar 6. Eksperimen yang dilakukan selama 24 jam dalam grafik menunjukkan kondisi dari awal pemanasan hingga pemanas dimatikan.

GAMBAR 6. Perubahan temperatur pada temperatur atur 40<sup>o</sup> C.

Grafik di atas menunjukkan bahwa setelah pemberian kalor selama 1921 detik mencapai kondisi tunak temperatur terukur yang masuk dalam sistem tangki pendingin melalui pipa HE adalah 40,75<sup>o</sup> C dan pada akhir kondisi tunak temperatur yang masuk sistem pendingin sebesar 41,09<sup>o</sup> C. Temperatur keluar sistem pendingin saat awal kondisi tunak menunjukkan temperatur yang terukur adalah 35,36<sup>o</sup> C

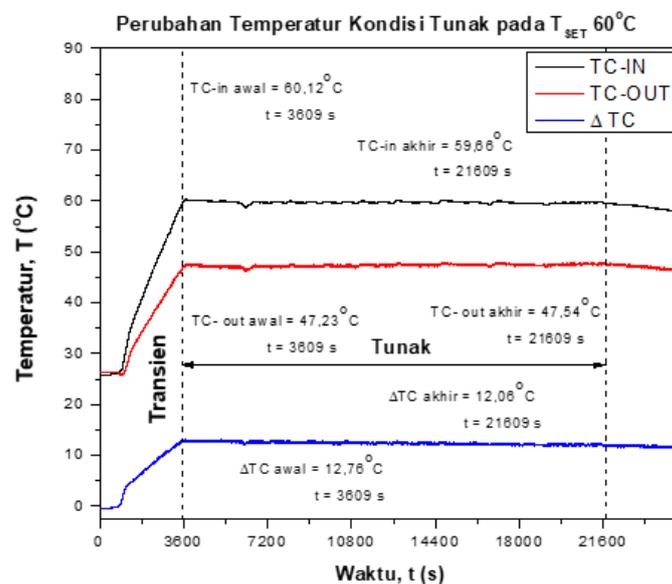
dan temperatur akhir yang keluar sistem pendingin adalah  $35,7^{\circ}\text{C}$ . Perbedaan temperatur yang dihasilkan pada saat awal memasuki kondisi tunak yang terukur adalah  $5,31^{\circ}\text{C}$  dan diakhir kondisi tunak perbedaan yang terukur adalah  $5,41^{\circ}\text{C}$ . Perubahan temperatur pada temperatur atur  $50^{\circ}\text{C}$  yang dihasilkan setelah pemberian kalor melalui pipa HE selama 2577 detik untuk mencapai kondisi tunak.



GAMBAR 7. Perubahan temperatur pada temperatur atur  $50^{\circ}\text{C}$ .

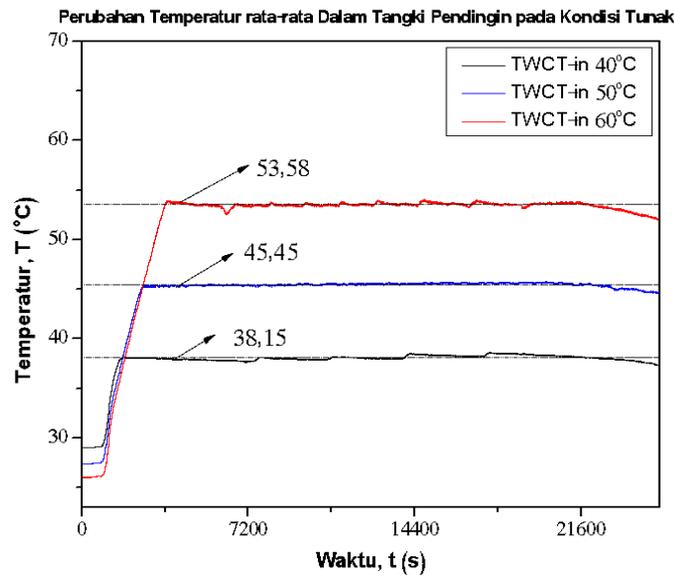
Perubahan temperatur pada  $50^{\circ}\text{C}$  menunjukkan temperatur yang masuk ke dalam sistem pendingin awal kondisi tunak yang terukur adalah  $49,8^{\circ}\text{C}$ , sedangkan temperatur akhir kondisi tunak yang masuk sistem pendingin adalah  $49,95^{\circ}\text{C}$ . Perubahan temperatur pada temperatur yang keluar dari sistem pendingin awal yang terukur adalah  $40,53^{\circ}\text{C}$  dan pada akhir kondisi tunak adalah  $41,26^{\circ}\text{C}$ . Perbedaan temperatur yang dihasilkan selama eksperimen pada awal kondisi tunak terukur  $9,10^{\circ}\text{C}$  dan pada akhir kondisi tunak  $8,6^{\circ}\text{C}$ .

Pengukuran perubahan temperatur dengan temperatur atur  $60^{\circ}\text{C}$  dalam mencapai kondisi tunak memerlukan waktu 3609 detik pemerian kalor yang berasal dari pipa HE. Hasil pengukuran perubahan temperatur ditunjukkan dalam Gambar 8.



GAMBAR 8. Perubahan temperatur pada temperatur atur  $60^{\circ}\text{C}$ .

Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran perubahan temperatur yang terjadi pada saat memasuki sistem pendingin pada awal kondisi tunak terukur sebesar  $60,12^{\circ}\text{C}$  dan pada akhir kondisi tunak terukur  $59,66^{\circ}\text{C}$ . Temperatur keluar sistem pendingin pada awal kondisi tunak terukur pada temperatur  $47,23^{\circ}\text{C}$  dan pada akhir kondisi tunak temperatur yang terukur adalah  $47,54^{\circ}\text{C}$ . Perbedaan temperatur yang dihasilkan pada awal kondisi tunak yang terukur adalah  $12,76^{\circ}\text{C}$  dan pada akhir kondisi tunak terukur  $12,06^{\circ}\text{C}$ . Perubahan temperatur rata-rata di dalam tangki pendingin selama kondisi tunak pada temperatur atur  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$  yang terukur seperti Gambar 9.



GAMBAR 9. Perubahan temperatur rata-rata dalam tangki pendingin

Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran temperatur rata-rata dalam tangki pendingin terukur bahwa temperatur rata-rata air dalam tangki pendingin tertinggi pada temperatur atur  $60^{\circ}\text{C}$  terukur selama kondisi tunak adalah  $53,58^{\circ}\text{C}$ . Temperatur rata-rata air dalam tangki selama kondisi tunak pada temperatur atur  $50^{\circ}\text{C}$  ditunjukkan pada kurva warna biru dengan temperatur yang terukur adalah  $45,45^{\circ}\text{C}$  dan temperatur rata-rata air dalam tangki pendingin terendah pada temperatur atur  $40^{\circ}\text{C}$  yang terukur dengan temperatur  $38,15^{\circ}\text{C}$ .

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan hasil karakteristik selama eksperimen berdasarkan perubahan yang terjadi pada variasi temperatur atur  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$  perbedaan masing-masing variasi temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  pada awal kondisi tunak terukur  $5,31^{\circ}\text{C}$  dan akhir kondisi tunak  $5,41^{\circ}\text{C}$ . Perbedaan yang dihasilkan variasi temperatur atur  $50^{\circ}\text{C}$  pada awal kondisi tunak adalah  $9,10^{\circ}\text{C}$  dan pada akhir kondisi tunak terukur  $8,60^{\circ}\text{C}$  dan pada variasi temperatur  $60^{\circ}\text{C}$  perbedaan yang dihasilkan pada awal kondisi tunak adalah  $12,76^{\circ}\text{C}$  dan akhir kondisi tunak adalah  $12,06^{\circ}\text{C}$ . Hasil pengukuran perubahan rata-rata temperatur pada kondisi tunak di dalam tangki pendingin tertinggi pada variasi temperatur  $60^{\circ}\text{C}$  dengan rata-rata perubahan sebesar  $53,58^{\circ}\text{C}$  dan yang terendah pada variasi  $40^{\circ}\text{C}$  dengan terukur  $38,15^{\circ}\text{C}$ .

#### UCAPAN TERIMAKASIH

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 Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) BATAN atas dukungannya. Terima kasih juga kepada rekan-rekan BPFKR atas keterlibatannya dalam kegiatan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. D'Auria, G. M. Galassi, and M. Frogheri, "Natural circulation performance in nuclear power plants," 2000.
- [2] G. Desrayaud and A. Fichera, "Numerical analysis of general trends in single-phase natural circulation in a 2D-annular loop," *Sci. Technol. Nucl. Install.*, vol. 2008, 2008.
- [3] J. N. Reyes, "Flow Stagnation under Single and Two-Phase Natural Circulation Conditions in the APEX-CE Test Facility," *Sci. Technol. Nucl. Install.*, vol. 2008, 2008.
- [4] J. M. Broughton, K. Pui, D. A. Petti, and E. L. Tolman, "Scenario of the Three Mile Island Unit 2 accident," *Nucl. Technol.*, vol. 87, no. 1, pp. 34–53, 1989, doi: 10.13182/NT89-A27637.
- [5] 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 Indones.*, vol. 40, no. 3, pp. 141–147, 2014, doi: 10.17146/aij.2014.333.
- [6] D. Saha and J. Cleveland, "Natural Circulation in Nuclear Reactor Systems," *Science and Technology of Nuclear Installations*, vol. 2008. Hindawi, 2008.
- [7] H. Abdillah, G. Saputra, Novitrian, and S. Permana, "Study of Natural Convection Passive Cooling System for Nuclear Reactors," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 877, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/877/1/012047.
- [8] R. Wulandari, S. Permana, and Suprijadi, "Basic analysis on heat transfer phenomena in natural circulation for liquid sodium," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2072, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2072/1/012012.
- [9] Y. S. Kim, S. W. Bae, S. Cho, K. H. Kang, and H. S. Park, "Application of direct passive residual heat removal system to the SMART reactor," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 89, pp. 56–62, 2016, doi: 10.1016/j.anucene.2015.11.025.
- [10] M. Juarsa, A. R. Antariksawan, M. H. Kusuma, D. Haryanto, and N. Putra, "Estimation of natural circulation flow based on temperature in the FASSIP-02 large-scale test loop facility," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 105, no. 1, pp. 0–7, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/105/1/012091.
- [11] D. H. Haryanto, "Analisis Kekuatan Mekanik Water Cooling Tank Pada Fasilitas Uji Untai Passif-02 Menggunakan Catia," *Poros*, vol. 16, no. 1, pp. 79–85, 2018, doi: 10.24912/poros.v16i1.6296.