

## ESTIMASI PERUBAHAN KALOR SELAMA KENAIKAN TEMPERATUR AIR DI UNTAI PRE-FASSIP-02

Ahmad Rofiq Sofyan<sup>1</sup>, Dedy Haryanto<sup>2</sup>, Joko Prasetyo Witoko<sup>2</sup>, Giarno<sup>2</sup>,  
Mulya Juarsa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Departemen Fisika, FMIPA Universitas Padjajaran Bandung

<sup>2</sup>Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**ESTIMASI PERUBAHAN KALOR SELAMA KENAIKAN TEMPERATUR AIR DI UNTAI PRE-FASSIP 02.** Kecelakaan reaktor nuklir Fukushima terjadi dipicu oleh bencana alam gempa bumi dan Tsunami. Kerusakan yang terjadi pada teras reaktor akibat kegagalan sistem aktif selama proses pendinginan panas sisa peluruhan reaksi fisi berantai (residual heat). Sehingga, perlu pengembangan sistem pendingin pasif yang menggantikan sistem aktif untuk pendinginan teras ketika terjadi Stasiun Black Out (SBO) akibat pemadaman reaktor. Sistem pendingin pasif bekerja berdasarkan fenomena sirkulasi alam dari daerah panas menuju daerah dingin dalam satu untai tertutup. Sehingga untuk kebutuhan studi eksperimen terhadap pola aliran sirkulasi alam, maka dibuat fasilitas uji Untai Pre-FASSIP-02. Tujuan penelitian adalah untuk memperkirakan perpindahan kalor dari bagian panas menuju bagian dingin pada Untai Pre-FASSIP-02. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa proses pemanasan yang terjadi pada tabung heater semakin lama menyebabkan kenaikan temperatur air. Nilai kalor rata-rata yang diberikan oleh heater pada air untuk temperatur rata-rata 61,6 °C selama dua jam eksperimen adalah 1264,9 kJ dan besarnya kalor yang diterima kolam ECT hanya 150, 4 kJ. Kalor tersebut memanaskan air hingga terjadi aliran sirkulasi alam yang membuat temperatur di  $T_{H\ out}$  dan ECT meningkat meski dengan kenaikan yang kecil. Kenaikan temperatur air di  $T_{H\ out}$  dan ECT yaitu masing-masing 35,57 °C dan 0,07 °C. Artinya perubahan kalor di dalam untai yang terjadi cukup kecil dan rugi kalor yang terjadi besar, menyebabkan kenaikan temperatur air di ECT tidak akan mencapai titik didihnya.

**Kata kunci:** estimasi, kalor, temperatur, sirkulasi alam, sistem pasif, Pre-FASSIP-02

### ABSTRACT

**HEAT CHANGES ESTIMATION DURING WATER TEMPERATURE INCREASE IN THE PRE-FASSIP 02 TEST LOOP.** Fukushima nuclear reactor accident was happens triggered by natural disasters of earthquake and tsunami. The damage that occurs in reactor core due to the failure of active system during cooling process of decay heat as the product of fission chain reaction. Thus, it is necessary to develop a passive cooling system that replaces the active system for core cooling when the Black Out Station (SBO) occurs due to reactor shutdown. Passive cooling systems work based on natural circulation phenomena from hot region into cold region inside a closed loop. So to the necessary of experimental studies on the natural circulation flow pattern, the loop Pre-FASSIP-02 test facility has been constructed. The purpose of experiment is to estimate heat transfer from hot region into cold region in Pre-FASSIP-02. Experimental results show that the heating process occurs inside heater tank and it caused the water temperature to increase. The average value of heat given into the water by heater for average temperature about 61.6 °C during two hours experiment is 1264.9 kJ in heater tank and 150.4 kJ in ECT pool. The heated water caused natural circulation flow and make temperatures in  $T_{H\ out}$  and ECT were raised, even in small quantity. The increase of water temperature in  $T_{H\ out}$  and ECT are 35.57 °C and 0.07 °C respectively. It is means that the heat changes inside the loop is small, but the heat loss is larger, causing the rise in water temperature in the ECT will not reach its boiling point.

**Keywords:** estimation, heat, temperature, natural circulation, passive system, Pre-FASSIP-02

## PENDAHULUAN

Kecelakaan reaktor di Fukushima terjadi pada jenis Boiling Water Reactor (BWR) yang disebabkan oleh bencana alam yaitu berupa gempa bumi dan tsunami hebat<sup>[1]</sup>. Akibat itu terjadi Tsunami dahsyat dan masuk ke dalam komplek reaktor dan merusak sistem pembangkit cadangan (secondary genset), dimana jenis PLTN Fukushima masih menggunakan pompa (active system) yang bersumber dari secondary genset ketika terjadi stasiun black out akibat konsekuensi dari reaktor shutdown. Kondisi tersebut menyebabkan proses pendinginan tidak berjalan sebagai mana mestinya, terjadi failure pada thermal management. Dimana sisa panas peluruhan dalam air di teras reaktor tidak dapat didinginkan dan menyebabkan pendidihan di teras reaktor<sup>[2]</sup>.

Alternatif lain untuk mengatasi kegagalan sistem pendingin aktif yaitu dengan memasang sistem pendingin pasif yang tidak menggunakan sumber listrik primer<sup>[3]</sup>. Sistem pendingin pasif memanfaatkan fenomena aliran sirkulasi alam (*natural circulation flow*) yang diperlukan untuk mengambil panas peluruhan (*decay heat*) setelah reaktor padam agar tidak terjadi pelelehan di teras yang menyebabkan bahan radioaktif tidak terlepas ke lingkungan<sup>[4]</sup>.

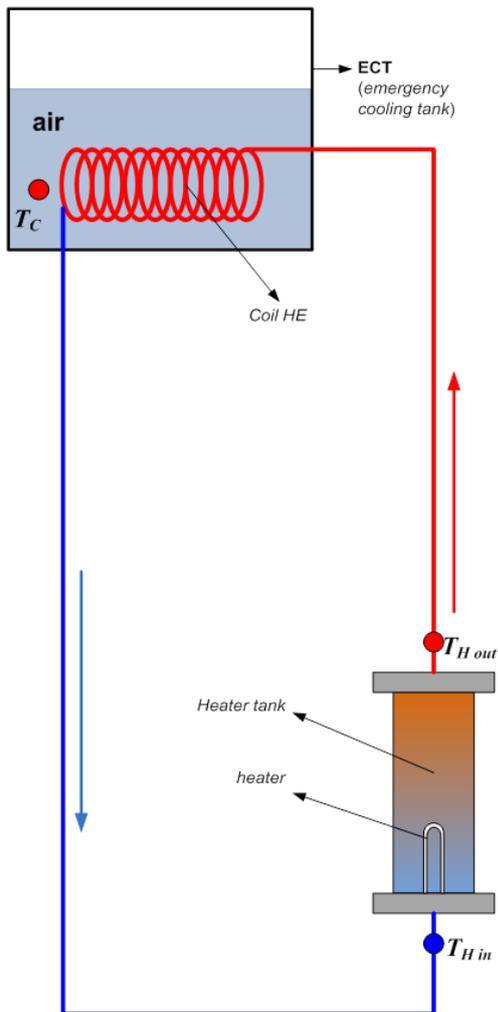
Untuk pengembangan fitur keselamatan reaktor dilakukan penelitian terkait sistem pendingin pasif, dimana suatu fasilitas uji skala kecil disebut Untai Pre-FASSIP-02 telah dibangun di Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) BATAN. Fasilitas uji tersebut berguna untuk mempelajari karakteristik fenomena sirkulasi alam pada simulasi

proses pendinginan reaktor menggunakan air. Fenomena sirkulasi alam terjadi akibat kenaikan temperatur air di daerah pemanas (tangki *heater*) dan turunnya densitas air sehingga menyebabkan gaya apung (*bouyancy force*) dan bergerak ke daerah pendingin (*cooler coil* dan tangki pendingin). Ketika air masuk ke bagian pendingin dan mengalami pendinginan sehingga densitas air meningkat. Dikarenakan kenaikan massa air dan posisi pendingin berada di atas, maka aliran air akan bergerak ke bagian bawah akibat gaya gravitasi dan masuk ke bagian pemanas kembali, proses ini terjadi secara berulang menyebabkan terjadinya aliran sirkulasi alam<sup>[5]</sup>.

Pemahaman awal fenomena sirkulasi alam dapat dilakukan dengan mengetahui perubahan kalor yang terjadi, baik di daerah panas maupun di daerah dingin. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk mengestimasi perubahan kalor selama kenaikan temperatur air di tangki pemanas pada Untai Pre-FASSIP-02 sebagai penelitian awal untuk menentukan laju aliran sirkulasi alam.

## TATA KERJA

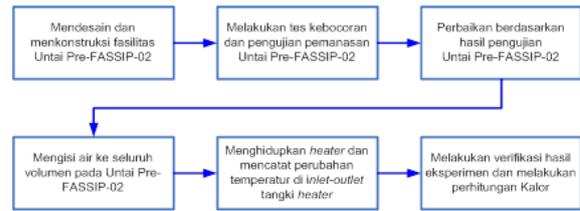
Fasilitas penelitian yang digunakan adalah Untai Pre-FASSIP-02 (Untai Preliminary Fasilitas Simulasi Sistem Pasif 02) yang merupakan alat eksperimen untuk mempelajari fenomena aliran sirkulasi alam pada sistem pasif pendingin reaktor nuklir. Gambar 1 di bawah ini adalah diagram Untai Pre-FASSIP-02.



Gambar 1. Diagram Untai Pre-FASSIP-02 [6]

Komponen utama Untai Pre-FASSIP-02 berdasarkan Gambar 1 terdiri dari, tangki *heater* (*heater tank*) yang terdiri dari *heater* dan akrilik untuk melihat fenomena aliran di dalam tangki, kemudian *coil heat exchanger* (*coil HE*) dari material kuningan diameter 1/8 inch. *Coil HE* direndam di dalam tangki berisi air sebagai *emergency cooling tank* (ECT), sedangkan pemipaan terdiri dari pipa pyrex dan sambungan menggunakan selang.

Prosedur eksperimen dilakukan dengan tahapan-tahapan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan eksperimen pada Untai Pre-FASSIP-02

Setelah Untai Pre-FASSIP 02 diisi dengan air, kemudian menghidupkan *heater* hingga temperatur yang ditentukan dan mencatat perubahan temperatur air pada titik  $T_{H\ in}$ ,  $T_{H\ out}$ , dan  $T_C$  seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kemudian data perubahan temperatur setiap 5 menit dicatat ke dalam Tabel hingga 120 menit (2 jam). Eksperimen dilakukan dengan mempertahankan temperatur air di dalam tabung tangki *heater* selama pemanasan sekitar  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama dua jam menggunakan sistem on-off daya *heater*. Kemudian, menghitung besaran kalor berdasarkan data perubahan temperatur  $T_{H\ in}$ ,  $T_{H\ out}$ , dan  $T_C$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memudahkan perhitungan estimasi perpindahan kalor yang terjadi pada Untai Pre-FASSIP-02, maka perlu diasumsikan beberapa parameter atau besaran fisika, seperti:

- Gelembung yang terjadi diabaikan, karena berukuran kecil dan dianggap tidak mengganggu aliran.
- Aliran yang terjadi dianggap *steady state* (tunak).

Data temperatur  $T_{Hin}$ ,  $T_{Hout}$ , dan  $T_C$  diperoleh dari pembacaan termokopel yang dipasang di Untai Pre-FASSIP-02 dan dibaca melalui Sistem Akuisisi Data (DAS) NI 9188. Kemudian setiap 5 menit perubahan temperatur dicatat dan dimasukkan ke dalam Tabel 1. Berdasarkan tabel 1 dibuat grafik perbandingan temperatur terhadap waktu eksperimen.

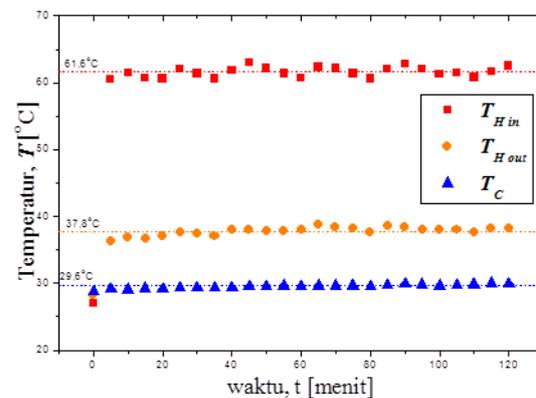
Tabel 1. Data temperatur  $T_{Hin}$ ,  $T_{Hout}$ , dan  $T_C$

No.	t (menit)	$T_{Hin}$ (°C)	$T_{Hout}$ (°C)	$T_C$ (°C)
1	0	27,06	28,22	28,82
2	5	60,51	36,30	29,10
3	10	61,47	36,92	29,05
4	15	60,64	36,72	29,26
5	20	60,58	37,12	29,19
6	25	62,09	37,71	29,32
7	30	61,36	37,45	29,33
8	35	60,62	37,12	29,35
9	40	61,87	38,08	29,38
10	45	62,92	38,04	29,52
11	50	62,13	37,90	29,52
12	55	61,40	37,90	29,62
13	60	60,72	37,95	29,59
14	65	62,32	38,84	29,63
15	70	62,13	38,45	29,65
16	75	61,40	38,16	29,66
17	80	60,62	37,68	29,60
18	85	62,07	38,52	29,75
19	90	62,77	38,30	29,90
20	95	62,01	37,94	29,83
21	100	61,28	37,94	29,65
22	105	61,49	37,95	29,75
23	110	60,81	37,57	29,84
24	115	61,67	38,21	30,00
25	120	62,50	38,19	29,89

Berdasarkan data pada Tabel 1, terlihat bahwa semakin lama proses pemberian kalor pada air di dalam tangki heater menyebabkan temperatur air menjadi naik. Kondisi tersebut dapat dilihat pada temperatur awal menunjukkan 27,06 °C sedangkan pada tangki *Emergency Cooling*

*Tank* (ECT) temperatur menunjukkan 28,82 °C atau pada temperatur kamar. Setelah mengalami pemberian kalor selama satu jam maka temperatur meningkat menjadu 60,72 °C untuk  $T_{Hin}$  dan 29,59 °C untuk  $T_C$  pada kolam ECT. Begitu pun halnya untuk temperatur pada  $T_{Hout}$  mengalami peningkatan temperatur, pada temperatur awal  $T_{Hout}$  setelah diberi kalor dari *heater* selama satu jam maka temperatur naik menjadi 37,95 °C.

Hal ini menunjukkan bahwa pemberian kalor pada tabung tangki *heater* akan memanaskan fluida kerja air sehingga terjadi aliran fluida ke atas (*buoyancy force*) dan kalorpun ikut terbawa sehingga membuat temperatur pada titik  $T_{Hout}$  dan temperatur di *Emergency Cooling Tank* (ECT) juga naik. Gambar 3 menunjukkan grafik data temperatur pada ,  $T_{Hin}$ ,  $T_{Hout}$ , dan  $T_C$  terhadap waktu.



Gambar 3. Grafik temperatur terhadap lama waktu pemanasan

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa selama 2 jam temperatur rata-rata di outlet adalah 61,6 °C dan inlet adalah 37,8 °C. Sedangkan temperatur rata-rata air di ECT adalah 29,6 °C. Kemudian, berdasarkan data tem-

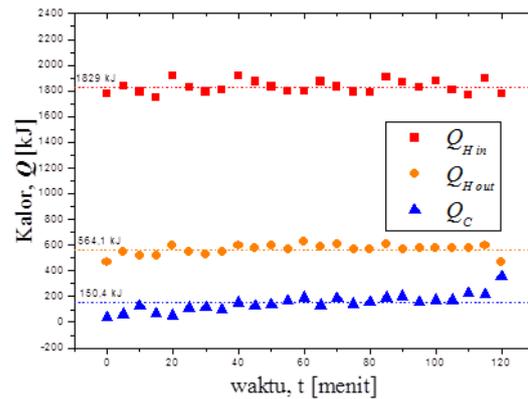
peratur dari Tabel 1 dilakukan perhitungan jumlah perubahan kalor selama 2 jam untuk ketiga titik pengukuran, diperoleh data perubahan kalor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kalor  $Q_{H\ in}$ ,  $Q_{H\ out}$ , dan  $Q_C$

No.	t (menit)	$Q_{H\ in}$ (kJ)	$Q_{H\ out}$ (kJ)	$Q_C$ (kJ)
1	0	1779	464	35
2	5	1838	549	61
3	10	1791	516	130
4	15	1748	514	69
5	20	1916	600	53
6	25	1830	547	111
7	30	1793	527	121
8	35	1803	547	98
9	40	1919	597	152
10	45	1872	578	127
11	50	1831	594	140
12	55	1797	572	165
13	60	1799	627	192
14	65	1873	590	132
15	70	1832	606	183
16	75	1793	564	142
17	80	1786	564	156
18	85	1908	603	193
19	90	1865	570	201
20	95	1826	577	157
21	100	1877	577	173
22	105	1804	579	172
23	110	1768	578	224
24	115	1897	599	217
25	120	1779	464	355

Semakin lama pemberian kalor atau proses pemanasan yang terjadi pada tabung tangki heater maka besar energi kalor ( $Q$ ) oleh heater juga akan bertambah, dapat dilihat pada menit ke 5, dimana  $Q_{H\ in}$  menunjukkan 1779 kJ, kemudian setelah satu jam pemanasan kalor yang diberikan heater adalah sebesar 1797 kJ. Sama halnya dengan sebelumnya bahwa pemberian kalor pada tabung tangki heater memanaskan fluida air sehingga terjadi aliran naik ke atas dan kalor pun ikut terbawa sehing-

ga membuat temperatur pada titik  $T_{H\ out}$  dan temperatur di *Emergency Cooling Tank* (ECT) menjadi naik yang artinya besar  $Q$  pada  $Q_{H\ out}$  dan  $Q_C$  meningkat. Gambar 4 menunjukkan grafik perubahan kalor pada tiga titik pengukuran selama 2 jam.



Gambar 4. Grafik kalor terhadap lama waktu pemanasan

Terlihat berdasarkan Gambar 4, bahwa rata-rata kalor secara berturut-turut pada inlet dan outlet heater tank adalah 564,1 kJ dan 1829 kJ. Sedangkan kalor di ECT sebesar 150,4 kJ.

Selama dua jam pemberian kalor oleh heater tersebut dengan spesifikasi heater yang dipakai dalam percobaan maka secara analitik dan eksperimen yang ada perubahan temperatur tabung tangki heater sebesar 35,57 °C dan pada kolam ECT sebesar 0,07°C. Artinya bahwa pemberian temperatur rata-rata 61,6 °C selama dua jam pemanasan tidak memberikan pengaruh besar terhadap perubahan temperatur di kolam ECT dengan besar perubahan temperturnya sangat kecil. Sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi proses penguapan atau berkurangnya kadar air, meskipun proses aliran sirkulasi alam terjadi. Dimana, sama se-

sekali tidak terjadi proses evaporasi pada kolam ECT, karena kalor yang diperlukan untuk menguap secara perhitungan estimasi adalah 126931 kJ, sedangkan kalor yang berada pada kolam ECT, rata-rata hanya 150,4 kJ. Kalor yang sampai ke kolam ECT sangat kecil sekali sehingga tidak mampu menguapkan air pada kolam tersebut dan dapat dilihat dari rata-rata temperatur air di ECT sebesar 29,6 °C.

Kalor yang diberikan *heater* sekitar 721000 kJ sedangkan kalor rata-rata yang diterima tabung tangki air heater hanya sekitar 1264,9 kJ dan besarnya kalor yang diterima kolam ECT hanya 150, 4 kJ. Hal ini terjadi disebabkan karena beberapa hal terutama *heat loss*, masih adanya gelembung udara masuk yang seharusnya divakum terlebih dahulu.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen menggunakan Untai Pre-FASSIP-02, telah terlihat aliran sirkulasi alam. Kondisi ini ditentukan berdasarkan pergerakan gelembung kecil selama pemanasan berlangsung an adanya beda temperatur antara bagian *heater tank* dan ECT. Kebutuhan kalor untuk memanaskan air di kolam ECT berdasarkan perhitungan volume air yang ada adalah 721000 kJ, sementara dalam eksperimen hanya mencapai 150,4 kJ. Sehingga, tidak ada volume air yang berkurang melalui proses evaporasi. Artinya perubahan kalor di dalam untai yang terjadi cukup kecil dan rugi kalor yang terjadi besar, menyebabkan kenaikan temperatur air di ECT tidak akan mencapai titik didihnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih tak terhingga kepada Kepala PTKRN BATAN, Dr. Geni Rina Sunaryo, MSc. atas izin pelaksanaan Kerja Praktek di PTKRN BATAN, juga kepada staf teknis di Lab. Termohidrolika Eksperimental BPFKR PTKRN BATAN atas bantuannya selama ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada anggaran KEMENRISTEKDIKTI Program INSINAS Riset Pratama Kemitraan antara PTKRN BATAN-FTUI dengan nomor kontrak 02/INS-2/PPK/E/E4/2017.

## DAFTAR PUSTAKA

1. A.F. Wibisono, A. Yoonhan, W. C. Williams, A. Yacine, J. I. Lee, Nuclear Engineering and Design 262, pp. 390 – 403 (2013).
2. M. Juarsa, J.H. Purba, M. H. Kusuma, T. Setiadipura, S. Widodo, Atom 40 (3), 141-147 (2014).
3. M. Restiya., M. Juarsa, K. Santosa, Joko Prasetyo W, Karakterisasi Flowmeter Untuk Laju Aliran Rendah Pada Sirkulasi Alami Di Untai FASSIP-01, Seminar Nasional Sains dan Teknologi , UMJ, pp. 2460 – 8416, 2016.
4. M. Noufal, Giarno, Joko Prasetyo W, D. Haryanto., M. Juarsa, Analisis Unjuk Kerja Pemanas dan Pendingin Di Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif, Sigma Epsilon. Vol. 19. No. 2. pp. 92-101, 2015.
5. M. Juarsa, A. R. Antariksawan, M. H. Kusuma, D. Haryanto, Nandy Putra, Estimation of Natural Circulation Flow

Based on Temperature in the FASSIP-02 Large-Scale Test Loop Facility, The 2nd International Tropical Renewable Energy Conference (i-TREC) 2017, Bali-Indonesia 3-4 October 2017. (published in IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105 (2017))

6. A. R. Antariksawan, S. Widodo, M. Juarsa, D. Haryanto, M. H. Kusuma, Nandy Putra, Numerical study on natural circulation characteristics in FASSIP-02 experimental facility using RELAP5 code, The 2nd International Tropical Renewable Energy, Bali-Indonesia 3-4 October 2017 (published in IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105 (2017))