

Effectiveness Of RPV Wall Heater In Heater Element Segment Prototype For RCCS-RDNK Test

Alviandy Rizky Utomo^{1*}, Iwan Setyawan¹, R.R. Sri Poernomo Sari¹, Mukhsinun Hadi Kusuma², Rahayu Kusumastuti², Mulya Juarsa², Dedy Hayanto², G. Bambang Heru K.² dan Giarno²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Depok, 16424

²Laboratorium Termohidrolika, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) BATAN
Gd. 80 Kawasan PUSPITEK, Setu, Tangerang Selatan 15310, Banten

*Corresponding author: alviandy10@gmail.com

Abstract. The cooling model in the gap between the High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) reactor pressure vessel and the concrete wall needs to be investigated because of the importance of protection against the integrity of the supporting concrete. The cooling is called the reactor cavity cooling system (RCCS). The RCCS research was carried out by BATAN by building the RCCS-RDNK Test Strand consisting of a heater, RPV wall, riser, water heat-sink, expansion tank and piping. The type of heater used is the heater plate which in the test experienced a heating failure to reach a design temperature of 300 °C - 400 °C, so that a replacement heater model called the heater element segments (HES) was made. Before making as many as 10 HES, the prototype HES was first made including the test. The purpose of this study was to calculate the effectiveness of heating from the insulating-brick section to the RPV wall during the heating process. The research method was carried out experimentally, by placing temperature measurement points on the insulating-brick, the air between the brick and RPV wall, the inside and outside of the RPV wall. The results showed that the effectiveness of heating was 18.79% at 2900 seconds.

Abstrak. Model pendinginan pada celah diantara bejana tekan reaktor HTGR dan dinding beton perlu diteliti karena pentingnya proteksi terhadap integritas beton peyangga. Pendinginan tersebut disebut *reactor cavity cooling system* (RCCS). Penelitian RCCS dilakukan BATAN dengan membangun Untai Uji RCCS-RDNK yang terdiri dari bagian pemanas, RPV wall, riser, air heat-sink, tangki ekspansi dan pemipaan. Tipe pemanas yang digunakan adalah *heater-plate* yang pada pengujiannya mengalami kegagalan pemanasan untuk mencapai temperatur desain sebesar 300 °C - 400 °C, sehingga dibuat model pemanas pengganti yang disebut dengan *Heater Element Segments* (HES). Sebelum dibuat sebanyak 10 HES, terlebih dahulu dilakukan pembuatan prototipe HES termasuk pengujiannya. Tujuan penelitian adalah untuk menghitung efektivitas pemanasan dari bagian insulating-brick menuju RPV wall selama pemanasan berlangsung. Metode penelitian dilakukan secara eksperimen, dengan meletakkan titik pengukuran temperatur di bagian insulating-brick, udara diantara brick dan RPV wall, bagian dalam dan luar RPV wall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas pemanasan sebesar 18,79 % pada detik ke 2900.

Kata kunci : Efektivitas Pemanas, Heater Element Segment, Untai Uji RCCS-RDNK, Sistem Pendingin Pasif, Keselamatan PLTN.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Salah satu bahan galian sebagai sumber energi listrik yang masih memiliki potensi jangka panjang penggunaannya adalah uranium, yang merupakan bahan baku Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). PLTN merupakan sumber energi listrik baru yang bisa dibidang sangat menguntungkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat yang makin meningkat. PLTN juga memiliki kekurangan jika terjadi kecelakaan pada PLTN yang

dapat berdampak merugikan karena akan adanya ancaman radioaktif yang dapat menghilangkan nyawa manusia dan juga makhluk hidup lain di sekitarnya[1]. Kejadian dari kecelakaan nuklir yang pernah ada adalah terjadinya kebocoran pada PLTN Fukushima Daiichi yang disebabkan oleh gempa di Toohoku pada hari Jumat, 11 Maret 2011. Gempa ini memicu ketinggian air laut mencapai ketinggian sekitar 13 sampai 15 m yang membanjiri ruang bawah tanah bangunan turbin dari PLTN

Fukushima Daiichi dan menghilangkan generator diesel yang berfungsi sebagai pendingin reaktor di saat darurat sehingga panas yang dilepaskan *Reactor Pressure Vessel* (RPV) tidak dapat dihilangkan secara aktif yang membuat RPV rusak karena panasnya tidak bisa didinginkan sehingga terjadi panas RPV merusak dinding beton dan mengakibatkan ledakan hidrogen dan melepaskan bahan radio aktif ke lingkungan [2,3].

Mengacu pada peristiwa yang terjadi di PTLN Fukushima Daiichi menurut analisa para ahli keselamatan nuklir hal itu dikarenakan sistem pendinginan yang digunakan pada PLTN Fukushima Daiichi masih menggunakan sistem pendinginan aktif yang memerlukan generator diesel menjadi sumber daya dari sistem pendinginan aktif yang digunakan. Selain itu para ahli keselamatan nuklir menemukan alternatif dari kegagalan sistem pendinginan aktif dan mengembangkan sistem pendinginan tanpa menggunakan daya dari luar seperti pada pendinginan aktif pada sebuah reaktor [4]. Sistem pendingin ini disebut dengan sistem pendinginan pasif yang cara kerjanya adalah dengan menggunakan sirkulasi alam (*natural circulation*) karena pada sistem ini memiliki kerapatan fluida yang berbeda di dua titik yang berbeda yaitu kerapatan pada *heater* dan kerapatan fluida pada *cooler* serta memiliki perbedaan ketinggian antara *heater* dengan *cooler* [5]. Secara prinsip sistem keselamatan pasif pada *Light Water Reactor* (LWR) saat ini diperuntukan untuk kondisi kecelakaan. Sementara pada reaktor *High Temperature Gas-cooled Reactor* (HTGR) sistem pendingin pasif digunakan pada *Reactor Cavity Cooling System* (RCCS) untuk memproteksi beton terhadap panas radiasi dari RPV *wall* [6].

Kuniyoshi Takamatsu dan Rui Hu yang melakukan penelitian dengan membuat sebuah desain atau bentuk bar dari RCCS yang memiliki fitur keselamatan pasif untuk *High Temperature Gas-cooled Reactor* dan *Very High Temperature Reactor*. Eksperimen dilakukan dengan mendesain RCCS menggunakan konveksi natural atau sirkulasi udara dengan menggunakan cerobong asap. Hasil kalkulasi pada eksperimen RCCS ini tercatat memiliki tinggi 16.8574 m dengan heat transfer area sebesar 408,84 m². Koefisien heat transfer antara RCCS dengan udara menggunakan cerobong asap dapat melepas panas dari daya sebesar 800 kW. Hasil penelitian ini menunjukkan jika RCCS membutuhkan saluran dengan ukuran yang cukup panjang termasuk saluran dari luar reaktor untuk memanfaatkan udara sekitar untuk menambah *velocity* udara untuk natural konveksi atau natural sirkulasi [2]. Kuniyoshi Takamatsu et. al melakukan penelitian dengan metode komparatif

antara RCCS nyata dengan fasilitas pengujian pelepasan panas yang skalanya diperkecil dengan menggunakan udara sebagai fluida kerja dan udara sekitar sebagai *heat sink* utamanya, temperatur pada skala dan real sama pada RPV dan RCCS serta faktor konfigurasi yang sama dan melakukan perbandingan pada konveksi alami dengan menggunakan nomer Grashof yang dengan demikian nomer Grashof di RPV RCCS pada yang diperkecil bisa sama dengan RCCS nyata, sehingga RCCS yang diperkecil akan memperoleh data eksperimen yang berharga untuk menunjukkan kinerja dari RCCS [3]. Rodolfo Vaghetto dan Hassan, melakukan pemodelan perilaku termodiraukik dari RCCS menggunakan RELAP5-3D. Pemodelan RCCS ini menggunakan model input berupa RELAP5-3D dari fasilitas eksperimental berpendingin air skala kecil disiapkan untuk mensimulasikan kondisi real dan hasil simulasi dibandingkan dengan data yang dihasilkan selama percobaan *steady-state run* [7].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian dan pengembangan terkait RCCS untuk HTGR juga dilakukan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dengan membangun fasilitas Untai Uji *Reactor Cavity Cooling System* – Reaktor Daya Non Komersil (RCCS-RDNK) di Pusat Teknologi dan Keselamatan Nuklir (PTKRN-BATAN). Dikarenakan RPV yang sudah ada tidak bekerja secara maksimal maka BATAN berkerja sama dengan Universitas Ibn Khaldun Bogor (UIKA) memodifikasi RPV dari RCCS-RDNK yang diberi nama *Heater Element Segment* (HES) yang pembuatannya dilakukan di Universitas Ibn Khaldun Bogor (UIKA). *Heater Element Segment* dibangun dengan tujuan memodifikasi RPV yang sudah ada di Untai Uji RCCS-RDNK serta melakukan penelitian pada sistem pendinginan pasif RCCS untuk reaktor HTGR serta untuk memahami dan menguasai sistem pendinginan di celah antara dinding luar RPV dan dinding beton untuk reaktor HTGR. Salah satu eksperimen yang dilakukan yaitu menganalisa efektivitas pemanas terhadap RPV *wall* pada bagian prototipe *heater element segment* terhadap waktu untuk diaplikasikan pada Untai Uji RCCS-RDNK. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai data referensi untuk melakukan *improvement* dalam produksi 10 segmen untuk RCCS-RDNK.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada eksperimen ini terdiri dari eksperimental setup dan matriks eksperimen yang telah ditentukan sebelumnya.

Eksperimental Setup

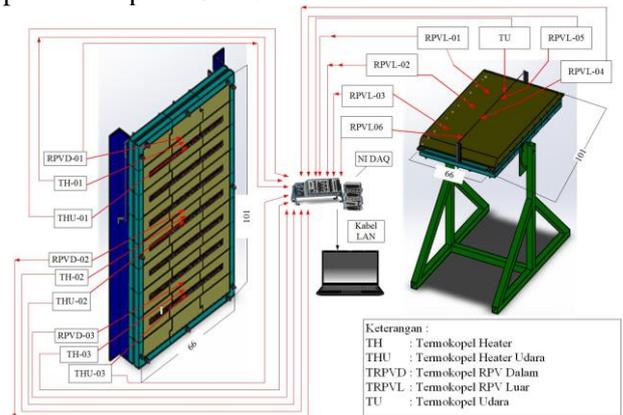
Eksperimental setup terdiri dari desain Heater Element Segment (HES), desain dari RPV wall, pemasangan termokopel serta tahapan untuk pengambilan dan perekaman data temperatur yang dibutuhkan. Prototipe HES memiliki bentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 101 cm dan lebar 66 cm yang didalamnya terdapat insulating brick tipe C-2 yang berukuran panjang 11,4 cm, lebar 23 cm, serta tinggi 6,5 cm dan kawat pemanas yang menggunakan kawat khantal yang memiliki diameter 2 mm yang dipasang pada permukaan insulating brick yang sudah di desain untuk menahan kawat pemanasnya. Sedangkan desain pada RPV wall memiliki bentuk persegi panjang yang dimensinya sama seperti HES yang terbuat dari material stainless steel 304 dengan tebal 3 mm. Untuk mempermudah dimensi dari komponen prototipe HES dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Geometri Prototipe HES

Alat	Bentuk	Ukuran/Material
Heater Element Segment	Kotak	Panjang 101 cm dan lebar 66 cm
Reactor Pressure Vassel	Kotak	Panjang 101 cm, tebal 3 mm, lebar 66 cm (SS304)
Insulating Brick	Balok	Panjang 11,4 cm, lebar 23 cm, tinggi 6,5 cm
Open coil	Spiral	Diameter 3 mm (khantal 2 mm)
Selongsong Ceramic	Silinder	Diameter 6mm

Gambar 1 merupakan gambar design dari eksperimental setup yang dibuat untuk mengetahui proses perekaman data temperatur yang dibutuhkan. Dari Gambar 1 dapat diketahui titik dari pemasangan termokopel yang terpasang pada permukaan HES dan pada permukaan luar RPV wall. Untuk termokopel yang terpasang di permukaan HES ada 9 buah termokopel beserta dengan namanya yaitu TH, THU dan RPVD. Sedangkan pada permukaan luar RPV wall terdapat 7 buah termokopel yang terpasang beserta dengan namanya yaitu RPVL dan TU. Semua termokopel yang terpasang pada permukaan HES dan permukaan luar RPV wall akan di pasang pada NI (National Instrument) yang kemudian dari NI akan dihubungkan ke komputer menggunakan kabel LAN yang kemudian akan divisualisasikan dan

direkam data temperturnya oleh LabVIEW yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Eksperimental Setup

Matriks Eksperimen

Matriks eksperimen yang telah ditentukan pada penelitian efektivitas pemanas RPV wall di prototipe HES menggunakan perubahan temperatur selama 2900 detik dengan para meter data yang diambil yaitu temperatur pada permukaan insulating brick pada titik pengukuran 02 (TH-02), temperatur pada permukaan dalam RPV wall di titik pengukuran 02 (RPVD-02), dan temperatur pada permukaan luar RPV wall di titik pengukuran 02 (RPVL-02) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Eksperimen

Waktu (detik)	TH-02 (°C)	RPVD-02 (°C)	RPVL-02 (°C)
0	39,43092	178,5309	39,08692
2900	620,2281	644,5879	364,2723

Efektivitas pemanasan pada prototipe HES Untai Uji RCCS-RDNK dipengaruhi oleh perpindahan kalor yang terjadi di permukaan *insulating brick* sampai dengan permukaan RPV luar yang terjadi di prototipe HES Untai Uji RCCS-RDNK. Untuk mendapatkan nilai dari efektivitas pemanasan di prototipe HES Untai Uji RCCS-RDNK melalui beberapa tahap perhitungan perpindahan panas pada bidang datar dengan menggunakan persamaan (1) [8].

$$q_h = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}} = \frac{A(T_A + T_B)}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (1)$$

Jika sudah mendapatkan nilai dari q_h , selanjutnya mencari nilai dari q_{tot} dengan menggunakan persamaan (2) [9].

$$q_{tot} = P = V \cdot I \quad (2)$$

Nilai dari V didapat dari hasil pengukuran yang dilakukan selama eksperimen berlangsung sedangkan nilai dari I dihitung dengan menggunakan persamaan (4) [9].

$$I = \frac{V}{R} \quad (3)$$

Kemudian jika nilai dari q_{tot} sudah didapatkan maka selanjutnya mencari nilai dari q_{loss} dengan menggunakan persamaan (4) [8].

$$q_{loss} = q_{tot} - q_h \quad (4)$$

Jika sudah mendapat nilai dari q_h dan q_{loss} maka tahap selanjutnya adalah mencari nilai efektivitas pemanasan dengan menggunakan persamaan (5) [9].

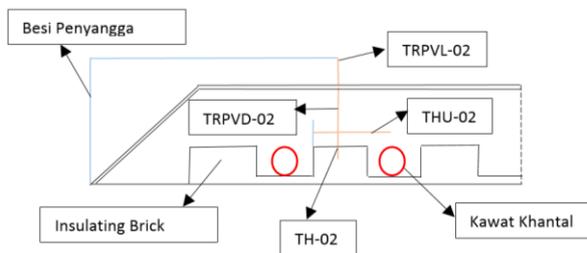
$$efektivitas(\varepsilon) = \frac{q_h}{q_t} \times 100\% \quad (5)$$

Persamaan (5) merupakan persamaan yang akan digunakan dalam menghitung efektivitas pemanasan. Persamaan tersebut menjelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai dari efektivitas pemanasan dibutuhkan beberapa parameter yang harus diketahui yaitu seperti temperatur permukaan insulating brick (TH) dan temperatur permukaan luar RPV (RPVL), luas permukaan RPV (A), konduktivitas termal stainless steel (K), koefisien konveksi insulating brick C-2 (h_1), koefisien konveksi stainless steel (h_2), tebal stainless steel (Δx), hambatan total pada kawat khantal (R).

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Temperatur

Eksperimen efektivitas pemanas RPV wall pada prototipe HES menggunakan data perubahan temperatur permukaan *insulating brick*, permukaan dalam RPV dan permukaan luar RPV dengan satu garis pengukuran temperatur menggunakan sampel titik pengukuran pada TH-02, THU-02, RPVD-02 dan RPVL-02 yang penempatannya dapat dilihat pada Gambar 2.

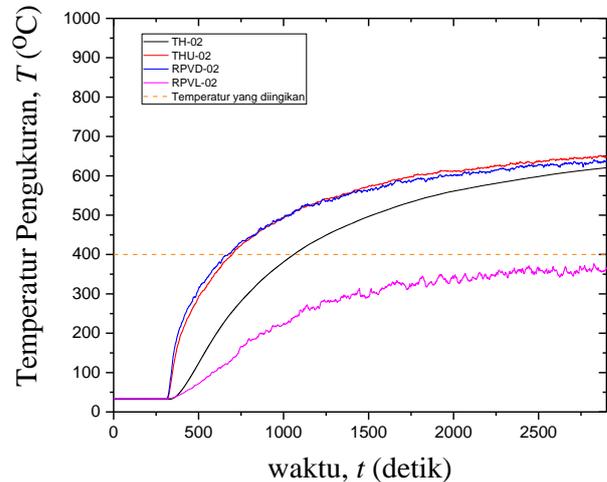


Gambar 2. Ilustrasi Penempatan Segaris Pada Termokopel TH-02, THU-02, RPVD-02 dan RPVL-02 di Prototipe HES Untai Uji RCCS-RDNK

Gambar 2 merupakan gambar yang menunjukkan ilustrasi dari penempatan termokopel yang segaris searah sumbu Y atau bisa dikatakan vertikal yang akan dikarakterisasi. Dari Gambar 2 dapat dilihat termokopel yang penempatannya segaris ada 3 termokopel yaitu TH-02, RPVD-02

dan RPVL-02 sedangkan THU-02 tidak dikategorikan sebagai termokopel yang segaris dengan ketiga termokopel tersebut.

Sedangkan untuk grafik karakteristik perubahan temperaturnya dapat dilihat pada Gambar 3 akan menunjukkan karakteristik perubahan temperatur pada TH-02, THU-02, RPVD-02 dan RPVL-02.



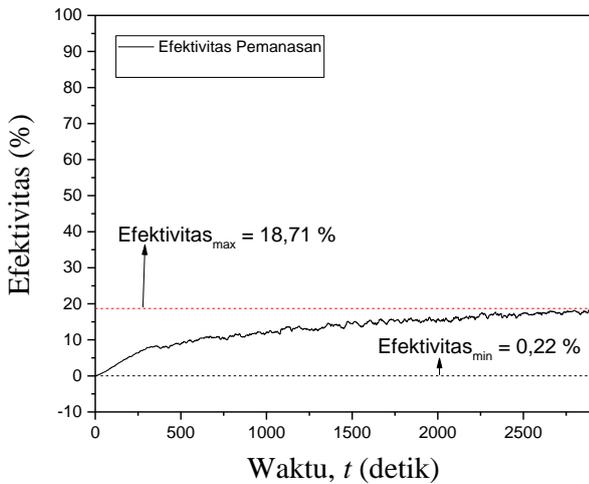
Gambar 3. Grafik Karakteristik Perubahan Temperatur di Titik TH-02, THU-02, RPVD-02 dan RPVL-02 Terhadap Waktu

Gambar 3 merupakan gambar grafik yang menunjukkan karakteristik perubahan temperatur segaris pengukuran terhadap waktu yang ada di prototipe HES Untai Uji RCCS-RDNK. Dapat dilihat pada Gambar 3 temperatur yang ingin dicapai sebesar 400 °C dan temperatur yang dapat mencapai 400 °C ada 3 titik termokopel yaitu TH-02, THU-02 dan RPVD 02. Sementara itu pada titik RPVL-02 tidak mampu mencapai temperatur yang diinginkan. RPVL-02 hanya mampu mencapai temperatur tertingginya yaitu 376,34 °C pada detik 2825. Hal itu disebabkan karena banyaknya *heat loss* yang terjadi pada saat melakukan eksperimen. Untuk TH-02 membutuhkan waktu 1029 detik dari awal pemanasan dan mencapai temperatur maksimalnya sebesar 620,24 °C pada detik 2900. Pada titik THU-02 membutuhkan waktu 697 detik dan mencapai temperatur tertingginya sebesar 651,66 °C pada detik 2866. Pada RPVD-02 membutuhkan waktu 673 detik dan dapat mencapai temperatur maksimalnya sebesar 641,19 °C pada detik ke 2827.

Analisis Efektivitas Pemanas Pada RPV Wall

Efektivitas pemanasan adalah nilai yang didapat dari pembagian antara perpindahan kalor menyeluruh pada bidang datar dengan kalor total atau daya total yang dibutuhkan oleh prototipe HES dan dikalikan dengan 100 %. Data temperatur untuk mencari nilai dari q_h adalah data temperatur pada titik pengukuran di TH-02 dan data temperatur pada

titik pengukuran di RPVL-02 pada saat detik ke 0 hingga detik ke 2900 yang hasilnya akan di jadikan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Efektivitas Pemanasan Terhadap Waktu Pemanasan

Gambar 4 merupakan gambar yang menunjukkan efektivitas yang di hasilkan prototipe HES di setiap detiknya namun untuk detik ke 0 sampai dengan detik ke 367 tidak dimasukkan ke dalam grafik pada Gambar 4.24 karena pada detik ke 0 sampai detik ke 367 adalah proses dimana kawat khantal pada HES baru dinyalakan dan permukaan luar RPV temperturnya masih dalam temperatur ruang karena alasan itulah jika dimasukkan ke grafik maka grafik efektivitas akan di mulai dari -0,13 % yang secara teori nilai dari efektivitas tidak mungkin minus. Jadi pada Gambar 4.25 grafik efektivitas pemanasan sudah dilakukan pemotongan data untuk mempermudah proses perhitungan. Dari Gambar 4.24 dapat dilihat efektivitas tertinggi yang dihasilkan sebesar 18,71 % pada detik ke 2888 dan efektivitas terendah sebesar 0,22 % pada detik ke 0 atau bisa di katakan detik ke 367. Jika dilihat dari grafik yang ditunjukkan Gambar 4 nilai efektivitas pemanas di *Heater Element Segment* yang diperoleh memiliki trend yang cenderung naik secara perlahan yang berbanding lurus dengan lamanya waktu pemanasan hingga hampir mencapai kondisi *steady* namun sesekali mengalami penurunan nilai efektivitasnya yang disebabkan adanya *heat loss* yang besar pada saat eksperimen dilakukan. Hal ini juga menunjukkan bahwa lamanya waktu pemanasan dan tempat melakukan eksperimen dapat mempengaruhi

nilai dari efektivitas pemanas di prototipe HES Untai Uji RCCS-RDNK.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada paper yang menjelaskan tentang analisis efektivitas pemanas RPV *wall* di prototipe *Heater Element Segment* Untai Uji RCCS-RDNK berdasarkan perubahan waktu selama eksperimen yang diperoleh dengan menggunakan beberapa persamaan yang telah ditentukan. Dapat dinyatakan bahwa semua data dan hasil berupa perhitungan dan grafik dari efektivitas pemanas yang terjadi setiap detiknya yang menunjukkan nilai efektivitas yang paling tinggi sebesar 18,71 % pada detik ke 2888 sedangkan efektivitas terendahnya sebesar 0,22 % yang terjadi pada detik ke 367. Nilai dari efektivitas pemanas di *Heater Element Segment* yang diperoleh memiliki trend yang cenderung naik secara perlahan yang berbanding lurus dengan lamanya waktu pemanasan hingga hampir mencapai kondisi *steady* namun sesekali mengalami penurunan nilai efektivitasnya. Hal ini juga menunjukkan bahwa lamanya waktu pemanasan dapat mempengaruhi nilai dari efektivitas pemanas di prototipe HES Untai Uji RCCS-RDNK.

Penghargaan

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

Referensi

- 1] S. A. Pencegahan, "Oleh Sukir dan Sunaryo Soenarto Abstrak Pendahuluan Keuntungan dan Potensi Bahaya PLTN," 1993.
- [2] K. Takamatsu and R. Hu, "Annals of Nuclear Energy New reactor cavity cooling system having passive safety features using novel shape for HTGRs and VHTRs," *Annu. Nucl. ENERGY*, vol. 77, pp. 165–171, 2015.
- [3] K. Takamatsu, T. Matsumoto, and K. Morita, "New reactor cavity cooling system (RCCS) with passive safety features: A comparative methodology between a real RCCS and a scaled-down heat-removal test facility," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 96, pp. 137–147, 2016.

- [4] M. Juarsa and A. R. Antariksawan, “Penelitian Fenomena Perpindahan Panas Pendidihan Dalam Peristiwa Kecelakaan Reaktor Nuklir Three Mile Island Unit 2,” vol. 11, no. 2, pp. 1–11, 2007.
- [5] ANHAR R. ANTARIKSAWAN, SURIP WIDODO, MULYA JUARSA1, DEDY HARYANTO, MUKHSINUN HADI KUSUMA, NANDY PUTRA, 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, Februari 2018 : 41-54.
- [6] X. Yan, H. Noguchi, H. Sato, Y. Tachibana, K. Kunitomi, and R. Hino, “A hybrid HTGR system producing electricity , hydrogen and such other products as water demanded in the Middle East,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 271, pp. 20–29, 2014.
- [7] R. Vaghetto and Y. A. Hassan, “Annals of Nuclear Energy Modeling the thermal – hydraulic behavior of the reactor cavity cooling system using RELAP5-3D,” *Ann. Nucl. Energy*, vol. 73, pp. 75–83, 2014.
- [8] HOLMAN J.P, 2010, Heat Transfer Tenth Edition, New York, McGraw-Hill Kagakusha. Ltd.
- [9] HOLMAN J.P, 2007, Heat And Mass Transfer Second Edition, Indian, Tata McGraw-Hill Company Limited