

## DISTRIBUSI TEMPERATUR RISER PADA POSISI VERTIKAL SELAMA PROSES PEMANASAN MENGUNAKAN HEATER TIPE-PLAT DI UNTAI UJI RCCS-HTGR

AINUR ROSIDI \*, G.B. HERU K., GIARNO, DEDY HARYANTO, HENDRO TJAHHONO,  
MULYA JUARSA

*Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 80, 15310,  
Tangerang Selatan, Banteng, Telp. 021-7560912*

*\*email : ainur@batan.go.id*

**Abstrak.** Untai uji *Reactor Cavity Cooling System* (RCCS) adalah fasilitas uji eksperimen yang digunakan untuk mempelajari salah satu sistem keselamatan pada reaktor *High Temperature Gas-cooled Reactor* (HTGR). Sistem bekerja berdasarkan sirkulasi alamiah dan tidak membutuhkan energi listrik. Untai uji ini memiliki dua komponen utama, yaitu sumber panas terbuat dari *heater* tipe-plat yang mensimulasikan dinding *Reactor Pressure Vessel* (RPV) dan dinding *riser* yang berfungsi untuk penyerapan panas. Tujuan penelitian dilakukan untuk memperoleh karakteristik selama pengujian pemanasan dari dinding *riser* pada posisi vertikal dalam menyerap panas. Metode pengujian dilakukan dengan memanaskan *heater* tipe-plat dengan menaikkan daya *heater* secara bertahap sampai temperatur pada sumber panas tercapai maksimum yaitu 200°C. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel yang dipasang di bagian bawah, tengah dan atas dari dinding *riser*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa posisi dinding *riser* pada bagian atas menghasilkan temperatur yang lebih tinggi sekitar 49.4°C dibandingkan posisi bagian bawah dan bagian tengah berkisar antara 33°C – 35°C. Temperatur di dinding *riser* bagian atas juga membentuk pola *zig-zag*, yang menunjukkan bahwa aliran sirkulasi alamiah dari fluida kerja udara mulai bekerja secara konveksi alami untuk mendinginkan dinding *riser* pada untaian uji RCCS.

**Kata kunci:** *heater* tipe-plat, HTGR, sistem pendingin pasif, RCCS, *Riser*

**Abstract.** The *Reactor Cavity Cooling System* (RCCS) test strand is an experimental test facility used to study one of the safety systems in the *High Temperature Gas-cooled Reactor* (HTGR). The system works based on natural circulation and does not need electrical energy. This test strand has two main components, namely a heat source made of a plate-type heater that simulates the *Reactor Pressure Vessel* (RPV) wall and the *riser* wall which functions for heat absorption. The aim of the research was to obtain the characteristics during the heating test of the *riser* wall in a vertical position to absorb heat. The test method was carried out by heating the plate-type heater by increasing the heater power gradually until the maximum temperature at the heat source was 200°C. Temperature measurement using a thermocouple which is installed at the bottom, middle and top of the *riser* wall. The test results showed that the position of the *riser* wall at the top resulted in a higher temperature of about 49.4°C compared to the lower and middle positions ranging from 33°C - 35°C. The temperature in the upper *riser* wall also forms a zigzag pattern, which indicates that the natural circulating flow of the working air fluid begins to act naturally by convection to cool the *riser* wall of the RCCS test strand.

**Keywords:** plate-type heater, HTGR, passive cooling system, RCCS, *Riser*

## 1. Pendahuluan

*High Temperature Gas-cooled Reactor* (HTGR) merupakan reaktor bertemperatur tinggi yang menggunakan pendingin gas dan dirancang dengan *Low Enriched Uranium* (LEU) [1]. Reaktor ini merupakan reaktor skala *Small Medium Reactor* (SMR) atau reaktor skala kecil menengah, yang mempunyai fitur keselamatan melekat dan sistem keselamatan pasif dengan mekanisme perpindahan panas alami dari konduksi, konveksi alami, dan radiasi termal [2]. Sehingga mempunyai tingkat keselamatan dan keandalan yang lebih baik, ketika kecelakaan kehilangan pendingin pada HTGR dipostulasikan terjadi, Panas dari peluruhan inti akan dipindahkan secara konduksi melalui reflektor grafit di teras dan radiasi termal dan konveksi alami dari bejana reaktor [3]. *Reactor Cavity Cooling System* (RCCS) akan membuang panas dari bejana reaktor dengan sirkulasi alami udara luar, RCCS ini selalu beroperasi pada kondisi normal dan kecelakaan dengan sistem pendingin pasif penuh, oleh karena sistem ini tidak memerlukan intervensi dari operator atau tindakan dari sinyal aktuator listrik [4, 5].

Kajian tentang penggunaan RCCS sebagai pendingin pada reaktor jenis HTGR pada waktu terjadi kecelakaan telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya adalah Yeong Bae dkk, melakukan eksperimen membuang panas sisa yang berjumlah 0,3-0,6% dari daya penuh reaktor jenis HTGR melalui radiasi dan konveksi alami, hasil eksperimen menunjukkan RCCS mampu membuang panas sisa dengan baik [6]. Angelo Frisani dkk, telah melakukan desain dan validasi RCCS pada reaktor jenis *Very High Temperature Gas-Cooled Reactors* ((VHTR), desain ini diperlukan untuk menunjukkan bahwa sistem pendingin RCCS dapat bertahan dan mampu mendinginkan bejana reaktor pada saat terjadi kecelakaan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa validasi menggunakan CFD dapat menyerupai perilaku dan fenomena fisik sistem RCCS [7].

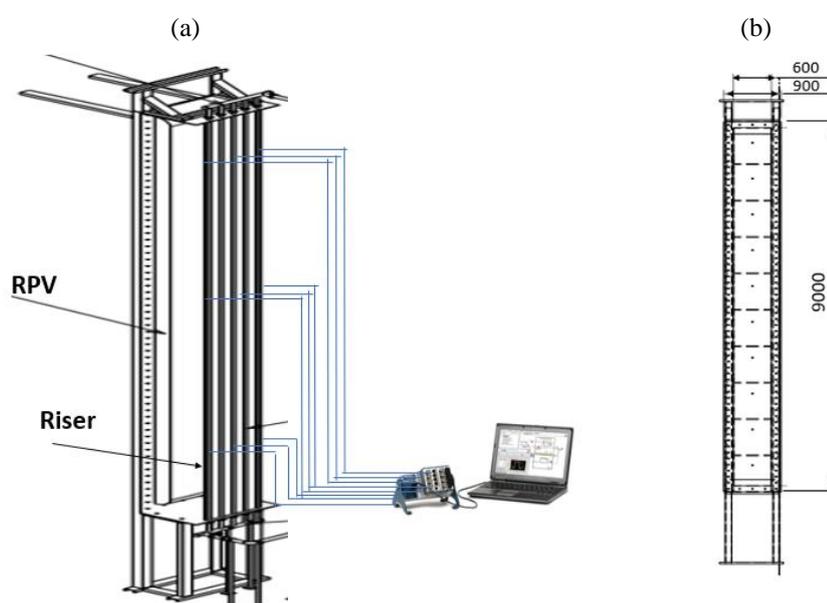
Penelitian tentang pengaruh kegagalan desain fungsi RCCS di mana konveksi alami dari udara luar tidak terbentuk telah dilakukan oleh Hong Sik Lim dkk, dengan dipostulasikan cerobong udara runtuh oleh peristiwa eksternal sehingga konveksi udara benar-benar hilang, desain pada RCCS menggunakan 2 fluida kerja pendingin yaitu udara dan air untuk mengurangi panas berlebih pada dinding bejana reaktor. Hasil simulasi menggunakan GAMMA+ code menunjukkan bahwa sistem *water jacket* dapat berfungsi sebagai sistem cadangan untuk mengurangi panas berlebih dari kecelakaan parah seperti runtuhnya cerobong udara [8]. Kuniyoshi dkk, melakukan desain RCCS dengan model baru sebagai pendingin pada HTGR, menggunakan udara sebagai fluida kerja dan udara ambien sebagai *heat sink* utama. Hasil simulasi menggunakan CFD menunjukkan bahwa distribusi temperatur RCCS berada dalam batas aman temperatur struktur, seperti temperatur operasi maksimum RPV sebesar 440°C, dan panas yang dilepaskan dari *Reactor Pressure Vessel* (RPV) dapat dihilangkan dengan aman, bahkan selama kecelakaan kehilangan pendingin. Sehingga RCCS menggunakan desain baru ini secara efisien menghilangkan panas yang dilepaskan dari RPV dengan radiasi dan konveksi alami [9, 10].

Dari beberapa literatur mengenai penggunaan RCCS sebagai pendingin pada reaktor jenis HTGR masih belum banyak yang melakukan penelitian dengan eksperimental. Tujuan pada penelitian ini adalah memperoleh distribusi temperatur dinding *riser* pada posisi vertikal selama proses pemanasan menggunakan *heater* tipe-plat di untai uji RCCS-HTGR. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah eksperimental. *Heater* tipe-plat diasumsikan sebagai RPV, pemasangan

dilakukan secara transien sampai temperature 200°C. Fluida kerja pendingin yang digunakan adalah udara. Penelitian ini dapat digunakan sebagai investigasi awal untuk pengembangan pendinginan pasif menggunakan udara bebas dengan aliran Tipe-U di untai uji RCCS.

## 2. Metode Penelitian

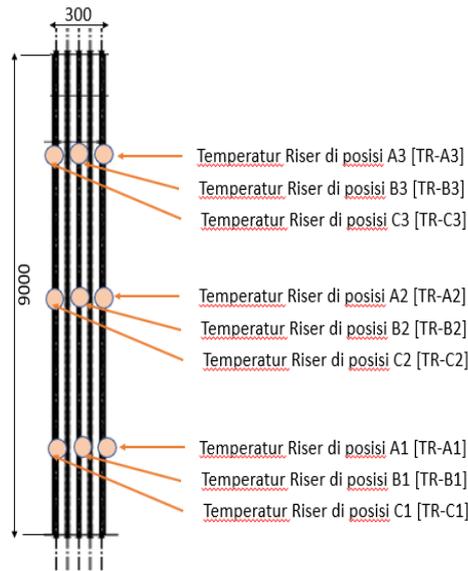
Untai uji RCCS-HTGR adalah fasilitas uji eksperimen yang digunakan untuk mempelajari salah satu sistem keselamatan pada reaktor HTGR, dengan cara mendinginkan reaktor dari panas sisa hasil fisi yang mempengaruhi temperatur dinding konkrit gedung *Reactor Pressure Vessel* (RPV). Sistem bekerja berdasarkan sirkulasi alamiah, yang tidak membutuhkan energi listrik. Skema Untai uji RCCS-HTGR ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** (a) Skema Untai uji RCCS-HTGR (b) Dimensi RPV pada Untai uji RCCS-HTGR

Komponen utama untai uji RCCS-HTGR terdiri dari dinding *heater* tipe-plat sebagai sumber panas yang mensimulasikan dinding RPV dan dinding *riser* yang berfungsi untuk penyerapan panas. Sumber panas pada untai uji ini menggunakan pemanas dengan tipe-plat. Jumlah *heater* tipe-plat yang dipasang sebanyak 10 buah, 1 *heater* tipe-plat mempunyai daya sebesar 15 kW sehingga total daya pada *heater* tipe-plat 150 kW. Sedangkan dinding *riser* terbuat dari susunan 5 pipa dan plat dengan material *stainless stell* 304. Heater tipe-plat dan dinding riser ini dipasang secara vertical dengan ketinggian yang sama yaitu 9 meter dan lebar 60 cm.

Pengukuran temperatur pada dinding *riser* untai uji RCCS menggunakan termokopel tipe K, termokopel yang dipasang pada eksperimen ini ada 9 titik. Tiga buah termokopel pada dinding *riser* bagian bawah, 3 buah termokopel pada dinding *riser* bagian tengah dan 3 termokopel pada dinding *riser* bagian atas. Penempatan posisi termokopel sepanjang dinding *riser* untai uji RCCS-HTGR dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Penempatan termokopel pada dinding riser untai uji RCCS

Eksperimen dilakukan terlebih dahulu dengan memanaskan *heater* tipe-plat dengan menaikkan daya *heater* secara bertahap. Besarnya arus dan tegangan yang masuk ke *heater* diukur dengan menggunakan tang ampere. Kemudian ketika temperatur pada *heater* tipe-plat tercapai maksimum yaitu  $200^{\circ}\text{C}$  pemanasan tetap di pertahankan secara *steady state*, kemudian daya dimatikan ketika fluida kerja udara berhasil menurunkan temperatur pada dinding *riser* untai uji RCCS. Pengambilan data dan perekaman selama eksperimen dari awal sampai akhir dilakukan dengan menggunakan sistem akuisisi data modul National Instrument 9476 dengan *virtual instrument software* LabVIEW.

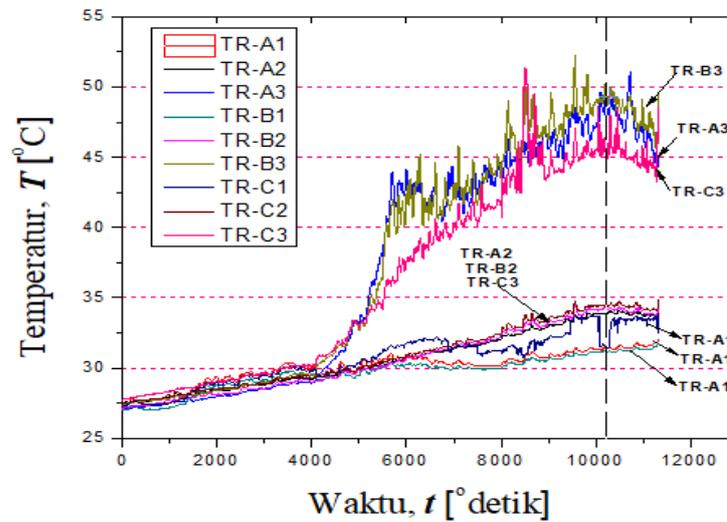
### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil eksperimen setelah dilakukan pemberian beban panas untuk 10 *heater* tipe-plat sebesar 150 kW dan dinding RPV mencapai temperatur  $200^{\circ}\text{C}$ , didapatkan distribusi temperatur pada dinding *riser* seperti terlihat pada Gambar 3.

Pada awal pemanasan dinding RPV, penyerapan kalor yang di terima oleh dinding *riser* dengan mekanisme perpindahan panas alami secara konduksi, konveksi alami, dan radiasi termal mengalami kenaikan temperatur secara perlahan. Setelah detik ke-4000 temperatur pada dinding RPV mengalami kenaikan mencapai  $200^{\circ}\text{C}$ , yang diikuti dengan kenaikan temperatur secara drastis pada dinding *riser* bagian atas yaitu TR-A3, TR-B3 dan TR-C3, Temperatur tertinggi rata-rata pada bagian atas sebesar  $49^{\circ}\text{C}$  tercapai pada detik ke-1250.

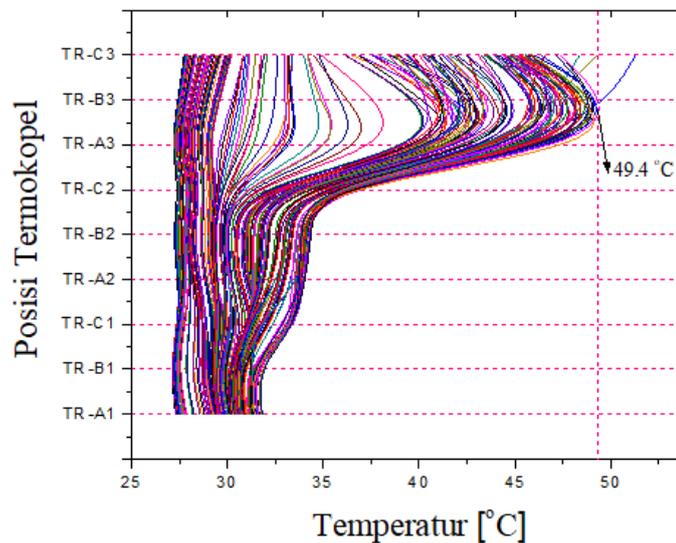
Sedangkan pada pada dinding *riser* bagian bawah dan bagian tengah dari awal pemanasan sampai temperatur di dinding RPV tercapai *steady state* yaitu sebesar  $200^{\circ}\text{C}$ , distribusi kenaikan temperaturnya sangat kecil yaitu masing-masing temperatur tertinggi rata-ratanya tercapai  $31^{\circ}\text{C}$  dan  $34^{\circ}\text{C}$ . Pada detik ke-5600 sampai akhir pemanasan di dinding *riser* bagian atas terbentuk pola *zig-zag*, hal ini

menunjukkan bahwa aliran sirkulasi alamiah dari fluida kerja udara mulai bekerja secara konveksi alami untuk mendinginkan *riser* untai uji RCCS.



**Gambar 3.** Kurva temperatur transien pemanasan pada pada dinding riser untai uji RCCS

Untuk mengetahui kinerja dinding *riser* dalam membuang panas yang dihasilkan dinding RPV, maka perlu diketahui terlebih dahulu distribusi temperatur sepanjang dinding *riser* pada posisi vertikal. Distribusi temperatur vertikal sepanjang dinding *riser* untai uji RCCS dapat dilihat pada kurva Gambar 4.



**Gambar 4.** Kurva isotime distribusi temperatur vertikal pada dinding riser untai uji RCCS

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi posisi termokopel menyebabkan semakin tinggi temperatur yang di terima pada dinding *riser* untai uji RCCS. Pola ini dapat terjadi oleh karna panas yang di serap oleh dinding *riser* pada bagian tengah dan bagian bawah akan mengalir dan berkumpul ke bagian atas. Hal ini disebabkan oleh karena perbedaan densitas dari fluida kerja udara akibat

pemanasan, sehingga udara panas mengalir dari posisi bagian bawah dan bagian tengah menuju ke posisi bagian atas.

Distribusi temperatur pada arah horizontal di dinding *riser* posisi atas menunjukkan bahwa termokopel pada titik B3 yang merupakan posisi tengah mengalami kenaikan lebih tinggi dibandingkan dengan titik A3 dan C3 yang berada di posisi ujung. Hal ini disebabkan karena panas pada titik A3 dan C3 lebih banyak terbuang diudara dan sebagian panasnya mengalir menuju titik B3 secara konduksi.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen mengenai distribusi temperatur dinding *riser* pada posisi vertikal selama proses pemanasan menggunakan *heater* tipe-plat di untai uji RCCS dapat disimpulkan bahwa posisi dinding *riser* pada bagian atas menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan posisi bagian bawah dan bagian tengah. Pada dinding *riser* bagian atas juga terbentuk pola *zig-zag*, yang menunjukkan bahwa aliran sirkulasi alamiah dari fluida kerja udara mulai bekerja secara konveksi alami untuk mendinginkan dinding *riser* pada untai uji RCCS.

#### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh DIPA-PTKRN tahun anggaran 2020 dan program Insinas, ucapan terimakasih kepada rekan-rekan BPFKR dan mahasiswa UIKA yang sedang tugas akhir di laboratorium Termohidrolika, atas terselenggaranya kegiatan penelitian ini

#### Daftar Pustaka

1. P.H. Liem, et al., *Alternative Fueling Scheme for the Indonesian Experimental Power Reactor (10 MWth Pebble-Bed HTGR)*. Energy Procedia, 2017. 131: p. 69-76.
2. M. Nakano, et al., *Core design and safety analyses of 600MWt, 950°C high temperature gas-cooled reactor*. Nuclear Engineering and Design, 2014. 271: p. 560-563.
3. Q. Sun, et al., *Graphite dust emission evaluation in an HTGR depressurization accident*. Annals of Nuclear Energy, 2020. 147: p. 107664.
4. S. B. Seo, et al., *Risk mitigation strategy by Passive IN-core Cooling system for advanced nuclear reactors*. Annals of Nuclear Energy, 2018. 111: p. 554-567.
5. K. Takamatsu, et al., *Improvement of heat-removal capability using heat conduction on a novel reactor cavity cooling system (RCCS) design with passive safety features through radiation and natural convection*. Annals of Nuclear Energy, 2018. 122: p. 201-206.
6. Y. Bae, S.-D. Hong, and Y.-W. Kim, *Scaling analysis of PMR200 reactor cavity cooling system*. Nuclear Engineering and Design, 2014. 271: p. 523-529.
7. A. Frisani and Y.A. Hassan, *Computation fluid dynamics analysis of the Reactor Cavity Cooling System for Very High Temperature Gas-Cooled Reactors*. Annals of Nuclear Energy, 2014. 72: p. 257-267.

8. H.S. Lim, et al., *Water-jacket reactor cavity cooling system concept to mitigate severe accident consequence of high temperature gas-cooled reactor*. Nuclear Engineering and Design, 2018. 340: p. 156-165.
9. K. Takamatsu and R. Hu, *New reactor cavity cooling system having passive safety features using novel shape for HTGRs and VHTRs*. Annals of Nuclear Energy, 2015. 77: p. 165-171.
10. K. T. 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*. Annals of Nuclear Energy, 2016. 96: p. 137-147.