

Analysis of Heat Loss During Heating on Heater Element Segment Prototype for RCCS-RDNK Test Module

Malfin Alif Syafrial^{1*}, Iwan Setyawan¹, R.R. Sri Poernomo Sari¹, Rahayu Kusumastuti², Mulya Juarsa², Dedy Haryanto², G. Bambang Heru K.², Giarno²

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

²Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten 15310

*Corresponding author: malfinalifs@gmail.com

Abstract. The active cooling system which is used to cool nuclear reactor is considered ineffective is use when the electricity die, then the cooling system also die, this problem encourages researchers to develop passive cooling system to more effective. To optimize passive cooling system more research about passive cooling system are develop including RCCS research as passive cooling system nuclear reactor. The purpose of this research to get characterization of heat transfer and analysis of heat loss during heating the prototype heater element segment for RCCS-RDNK test loop. Method are use in this research is use experimental method using HES prototype until the temperature of the thermocouple reach 400°C. HES heat transfer temperature characteristic data showing the time duration until the thermocouple reach a temperature of 400°C. thermocouple that need the fastest time to reach a temperature of 400°C is RPVD thermocouple are 306 seconds, while the thermocouple that reach the latest temperature of 400°C is RPVL thermocouple even when the experiment is finished at 2900 seconds the RPVL thermocouple only reach a temperature of 377°C. that show the position of thermocouple installation really affects the heat transfer that occurs. The result of the heat loss processing data in HES in the form of calculations and graphs show the lowest heat loss is at 2890 seconds when HES doing the experiment is equal 14.471,738 watt and the highest heat loss is at 0 second when HES doing the experiment is equal 17.770,983 watt. This is because when the temperature in HES is higher then the heat loss temperature will lower when the HES doing the experiment.

Abstrak. Sistem pendingin aktif yang dipakai untuk mendinginkan reaktor nuklir dinilai kurang efektif pemakaiannya apabila kelistrikan mati maka sistem pendinginan ikut mati juga, hal tersebut mendorong para peneliti untuk mengembangkan sistem pendingin pasif yang lebih efektif penggunaannya. Guna mengoptimalkan sistem pendingin pasif dilakukanlah beberapa penelitian diantaranya penelitian tentang RCCS sebagai sistem pendingin pasif reaktor nuklir. Tujuan penelitian yang dilakukan untuk memperoleh karakterisasi perpindahan panas dan analisis buangan kalor selama pemanasan yang terjadi pada prototipe heater element segment untuk Untai Uji RCCS-RDNK. Metode yang digunakan dalam penelitian menggunakan metode eksperimen menggunakan protipe HES hingga temperatur pada termokopelnya mencapai 400°C. Data karakteristik temperatur perpindahan panas pada HES menunjukkan durasi waktu hingga termokopel mencapai temperatur 400°C. Termokopel yang membutuhkan waktu paling cepat untuk mencapai temperatur 400°C adalah termokopel RPVD yaitu pada detik ke 306, sedangkan termokopel yang paling lama mencapai temperatur 400°C yaitu termokopel RPVL bahkan pada saat eksperimen selesai yaitu pada detik 2900 termokopel RPVL hanya mencapai temperatur 377°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa posisi pemasangan termokopel sangat mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi. Hasil pengolahan data buangan kalor pada HES yang berupa perhitungan dan grafik menunjukkan bahwa panas yang terbuang paling rendah berada pada detik 2900 HES melakukan eksperimen yaitu sebesar 14.471,738 watt dan panas yang terbuang paling rendah yaitu pada detik 0 HES melakukan eksperimen yaitu sebesar 17.770,983 watt. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur HES pada saat eksperimen maka semakin sedikit pula panas yang terbuang, sebaliknya semakin rendah temperatur HES pada saat eksperimen maka semakin besar pula panas yang terbuang.

Kata kunci: Sistem Pendingin Pasif, Perpindahan Panas, Buangan Kalor, RCCS, *Heater Element Segment*.

Pendahuluan

Salah satu penopang perekonomian di Indonesia adalah energi. Energi sebaiknya dimaksimalkan dan pemakaiannya harus efisien karena energi termasuk sumber daya yang terbatas. Salah satu energi alternatif yang berpotensi adalah energi nuklir karena menghasilkan daya listrik yang besar[1]. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan reaktor sebagai sumber panasnya. Energi listrik pada PLTN dihasilkan oleh putaran turbin yang diputar oleh uap bertekanan tinggi. Uranium digunakan PLTN sebagai sumber energi karena reaksi pembelahan (fisi) inti uranium akan menghasilkan energi panas yang sangat besar. Daya PLTN yang ada saat ini paling kecil menghasilkan 40MWe dan yang paling besar menghasilkan 2000MWe. Terdapat 437 PLTN didunia pada tahun 2015 yang menopong 1/6 kebutuhan energi listrik didunia. PLTN memiliki daya yang sangat besar dan memiliki resiko yang besar juga, dalam hal ini tentang radiasi[2].

Beberapa PLTN didunia pernah mengalami kecelakaan, diantaranya *Three Mile Island Unit 2* (TMI-2) tahun 1979. Reaktor pada saat kecelakaan TMI-2 menggunakan jenis reaktor air bertekanan *Pressurized Water Reactor* (PWR). Faktor yang membuat kecelakaan ini adalah hilangnya sebagian besar air pendingin *Loss of Coolant Accident* (LOCA) sistem utamanya. Kecelakaan ini disebut kebocoran skala kecil dari sistem pendingin air[3].

High-Temperature Gas-Cooled Reactor (HTGR) adalah ide rancangan reaktor maju dan aman dengan menggunakan sistem pendingin pasif muncul untuk memberikan rasa aman kepada masyarakat karena kecelakaan TMI-2 menggunakan reaktor PWR dengan sistem pendingin aktif yang apabila sistem pendingin mati, maka tidak ada lagi cara untuk mendinginkan reaktor[4]. Tetapi reaktor HTGR adalah jenis reaktor bertemperatur tinggi hingga 950°C dan memiliki daya termal 600MWt dan menghasilkan listrik hingga 300Mwe[5]. Karena memiliki temperatur yang sangat tinggi reaktor HTGR harus memiliki sistem pendinginan, dalam hal ini pada reaktor HTGR memiliki RCCS yang bertujuan untuk memindahkan panas yang keluar dari reaktor *vessel* agar tidak langsung merambat pada beton bangunan sehingga beton bangunan akan lebih terlindungi. Panas dari reaktor HTGR didinginkan dengan mengalirkan panas dari bejana reaktor dan dibuang ke atmosfer melalui beberapa saluran pipa yang ada pada RCCS[6].

Kuniyoshi Takamatsu dan Rui Hu telah membuat eksperimen bentuk novel pada RCCS yang bertujuan untuk mengurangi kerusakan pada cerobong dan memaksimalkan kinerja RCCS. RCCS bentuk novel dapat menghindari hilangnya pendinginan dan kehancuran inti saat terjadi kecelakaan nuklir. RCCS selalu dapat stabil dan pasif melepaskan panas pada saat reaktor beroperasi dan panas peluruhan pada saat reaktor dimatikan. Generator darurat tidak diperlukan lagi karena panas peluruhan dapat dilepas secara pasif dalam jangka waktu yang lama, selama kapasitas pelepasan panas RCCS cukup[7]. Untuk mendukung statement sebelumnya, Kuniyoshi Takamatsu dkk juga telah membandingkan antara *real* RCCS dan fasilitas uji perpindahan panas yang diperkecil untuk RCCS dengan fitur kewanasan pasif. Hasilnya rata-rata koefisien perpindahan panas natural konveksi sama dengan RCCS aslinya. Jadi RCCS dengan model novel sangat membantu untuk meningkatkan keamanan reaktor dan kepercayaan publik tentang dunia energi nuklir[8].

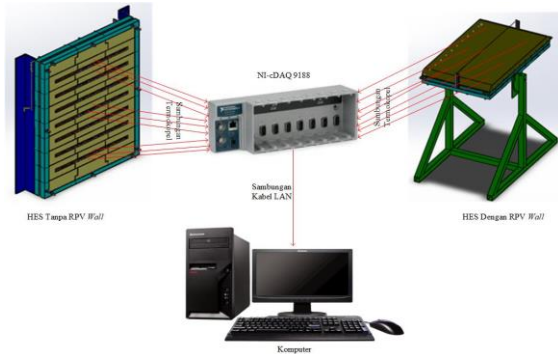
Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor (PTKRN) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) juga memiliki penelitian dan pengembangan (litbang) tentang RCCS yang bernama Untai Uji RCCS-RDNK. Pembahasan terpenting pada Untai Uji RCCS-RDNK yang ada di BATAN adalah tentang proses perpindahan atau buangan panas khususnya pada bagian *Heater Element Segment* (HES), karena HES digunakan sebagai bagian pemanas pada Untai Uji RCCS-RDNK, sehingga kalor yang berpindah juga harus diperhitungkan.

Penelitian difokuskan untuk menganalisa buangan kalor pada bagian HES di sistem Untai Uji RCCS – RDNK yang dilakukan dengan melakukan eksperimen dengan menggunakan variasi daya yang berbeda sebagai variabel yang diberikan riser untuk menyerap panas dalam penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa dan mengkarakterisasi buangan kalor pada bagian *heater element segment* di Untai Uji RCCS – RDNK dengan menggunakan metode eksperimen pada simulator Untai Uji RCCS – RDNK yang ada di Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

Metode Penelitian

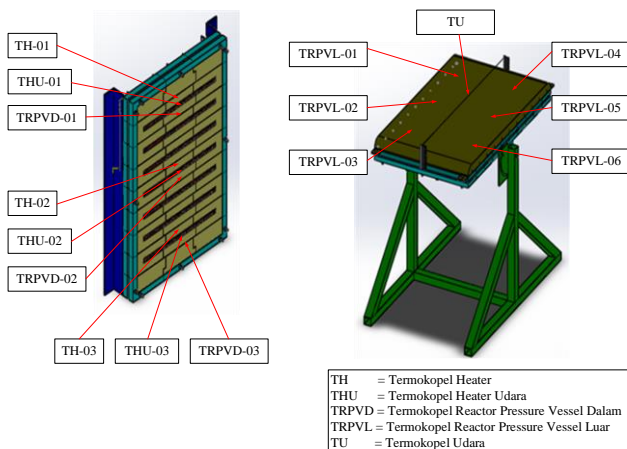
Eksperimental Setup dan Pemasangan Termokopel

Eksperimental *setup* menggunakan alat prototipe *heater element segment* yang telah dipasang termokopel tipe k di 15 titik yang telah ditentukan, semua titik pemasangan termokopel terhubung ke alat NI (*National Instrument*) yang disambungkan ke komputer pribadi melalui kabel LAN (*Local Area Network*). Pengukuran temperatur di prototipe *heater element segment* divisualisasikan oleh *software LabView*. Gambar eksperimental *setup* prototipe *heater element segment* ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Eksperimental Setup

Pemasangan termokopel pada prototipe HES dinamakan sesuai fungsi dan letak termokopel tersebut. Prototipe HES memiliki 16 buah termokopel yang dipasang pada kawat kanthal 3 buah termokopel, diatas kawat kanthal terpasang 3 buah termokopel, di RPV wall bagian dalam terpasang 3 buah termokopel, di RPV wall bagian luar terpasang 6 buah termokopel dan didepan RPV wall bagian luar terpasang 1 termokopel sebagai pengukur temperatur udara sekitar. Gambar posisi termokopel prototipe HES ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Posisi Pemasangan Termokopel

Matriks Eksperimen

Matriks eksperimen yang ditentukan pada penelitian buangan kalor pada *heater element*

segment adalah mencari perpindahan panas pada *heater element segment* dan mencari buangan panas yang terjadi pada *heater element segment*. Durasi waktu pengambilan data ditentukan dengan berapa lamanya termokopel menyentuh temperatur 400 °C.

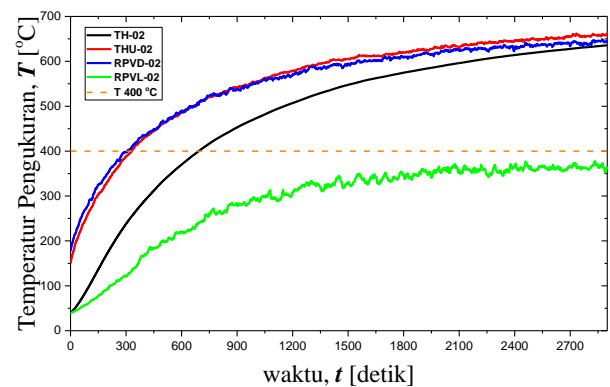
Tabel 1. Data Geometri

Alat	Bentuk	Ukuran/Material
RPV Wall	Persegi Panjang	Panjang 108cm, Lebar 67cm, (SS304) Tebal SS304 3mm
Insulating Brick	Balok	Panjang 11,4cm, Lebar 23cm, Tinggi 6,5cm
Kawat Kanthal	Silinder	Diameter 3mm
Selongsong Ceramic	Silinder	Diameter 6mm

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Temperatur

Eksperimen buangan kalor pada HES menggunakan data temperatur satu garis lurus termokopel, yaitu termokopel TH-02, termokopel THU-02, termokopel RPVD-02 dan termokopel RPVL-02. Pengambilan data dimulai dari awal eksperimen hingga temperatur mencapai 400 °C. Variasi posisi pemasangan termokopel menunjukkan karakteristik temperatur yang berbeda-beda pada setiap grafiknya, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Grafik Karakteristik Perpindahan Panas Termokopel 02

Gambar 3 merupakan grafik karakteristik perpindahan panas yang terjadi pada termokopel 1 garis TH-02 hingga termokopel RPVL-02 dan data yang didapat diambil ketika HES sudah dipanaskan. Gambar 3 menunjukkan tiap-tiap perpindahan panas yang terjadi pada setiap

termokopelnya. Pada masing-masing termokopel yang ada pada Gambar 3 membutuhkan waktu untuk mencapai temperatur 400 °C yaitu termokopel TH-02 membutuhkan waktu 714 detik, pada termokopel THU-02 butuh waktu 330 detik, pada termokopel RPVD-02 butuh waktu 306 detik dan pada termokopel RPVL-02 tidak mencapai temperatur 400 °C hanya mencapai 377 °C sampai akhir eksperimen yaitu detik ke 2900 dikarenakan pengaruh udara sekitar yang densitasnya mudah berubah. Gambar 3 menunjukkan bahwa termokopel yang paling cepat mencapai temperatur 400 °C adalah termokopel RPVD karena terletak ditengah-tengah bagian HES dan termokopel yang paling lambat mencapai temperatur 400 °C adalah termokopel RPVL dikarenakan letak termokopel RPVL yang jauh dari sumber panas dan berada diluar HES jadi banyak panas yang hilang karena dipengaruhi oleh udara sekitar yang densitasnya mudah berubah-ubah.

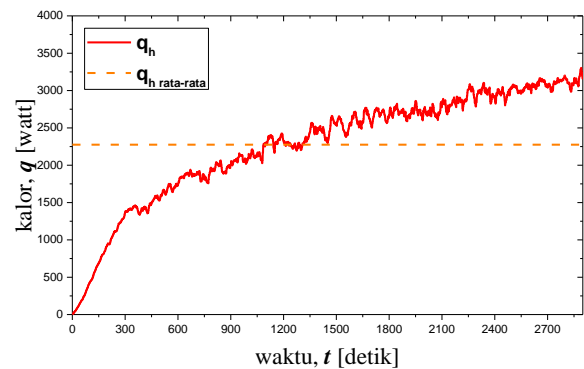
Perhitungan Buangan Kalor

Buangan kalor dapat dihitung dengan persamaan perpindahan panas menyeluruh pada bidang datar. Perhitungan buangan kalor akan dilakukan terhadap satu garis termokopel dari termokopel TH hingga termokopel RPVL pada setiap detiknya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi setiap detiknya pada di termokopel TH hingga termokopel RPVL dengan panjang RPV wall (p) = 1,08 m, lebar RPV wall (l) = 0,67 m, tebal RPV wall (x) = 0,003 m, heat transfer koefisien insulating brick (hc) = 17,48 W/(m²°C), konduktivitas termal stainless steel (k) = 15 W/(m°C), voltase listrik (v) = 220 v.

Perhitungan buangan kalor dimulai dengan mencari panas menyeluruh pada HES (bidang datar). Panas menyeluruh dinyatakan dengan satuan *watt*. Setelah dapat panas menyeluruh mencari panas yang masuk atau biasa disebut dengan daya. Sebelum mencari daya dicari dulu hambatan total rangkaian HES yaitu dengan melihat kode warna yang ada pada tiap-tiap resistornya, karena rangkaian HES memakai rangkaian seri berarti hambatan total didapat dengan menjumlahkan semua *resistor* yang dipakai. Setelah mendapatkan hambatan maka dicari daya yang masuk ke HES menggunakan persamaan Hukum Joule digabungkan dengan persamaan Hukum Ohm. Setelah mendapatkan daya yang masuk mencari buangan panas yang terjadi di HES dengan menghitung selisih dari daya yang masuk dengan panas menyeluruh yang ada pada HES.

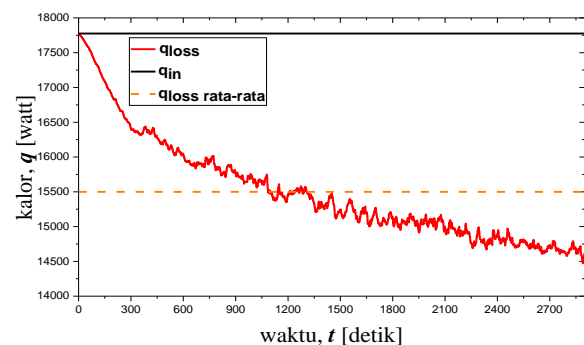
Analisis Buangan Kalor

Buangan kalor merupakan nilai selisih dari panas atau daya yang masuk ke HES dengan panas yang dibangkitkan pada HES. Buangan kalor akan berubah-ubah setiap detiknya karena beberapa faktor. Pada analisis buangan kalor pada HES menggunakan durasi waktu hingga termokopel mencapai temperatur 400 °C. Gambar 4 menunjukkan perpindahan panas menyeluruh yang terjadi pada HES yang selanjutnya akan digunakan untuk mencari buangan kalor yang ada pada HES.



Gambar 4 Grafik Perpindahan Panas pada HES

Gambar 4 menunjukkan panas menyeluruh HES berdasarkan termokopel segaris 02 yang dimulai dari termokopel TH-02 hingga termokopel RPVL-02. Dapat dilihat dari Gambar 4 kenaikan panas menyeluruh cukup signifikan tetapi cenderung naik turun karena panas yang hilang. Panas menyeluruh yang paling tinggi nilainya berada pada detik 2890 yaitu 3303,261 *watt*. Selanjutnya akan ditampilkan buangan panas atau q_{loss} di HES pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Grafik Kalor Terbuang pada HES

Gambar 5 menunjukkan grafik panas yang terbuang pada HES berdasarkan data dari termokopel satu garis 02 yang dimulai dari termokopel TH-02 hingga termokopel RPVL-02. Pada Gambar 4 kalor yang terbuang mulai menurun secara signifikan yang menandakan kinerja HES semakin membaik. Kalor yang terbuang paling rendah berada pada saat detik ke 2890 yaitu 14.471,738 *watt* sedangkan kalor terbuang yang paling tinggi berada pada saat detik ke 0 yaitu 17.770,983 *watt*. Rata-rata kalor yang

terbuang selama eksperimen dilakukan adalah 15.499,835 watt.

Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil karakterisasi perubahan temperatur yang ada di HES menunjukkan lamanya waktu perubahan temperatur dari kondisi awal hingga mencapai temperatur 400 °C. Termokopel yang paling lama untuk mencapai temperatur 400 °C atau bahkan tidak mencapai temperatur 400 °C adalah termokopel RPVL yaitu hanya mencapai temperatur 377 °C pada 2900 detik. Sedangkan termokopel yang paling cepat untuk mencapai temperatur 400 °C adalah termokopel RPVD yaitu pada detik 306. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 400 °C bisa berbeda-beda pada tiap-tiap termokopelnya, hal ini disebabkan karena adanya panas yang terbuang sehingga temperaturnya tidak optimal dan juga perbedaan posisi pemasangan termokopel serta memiliki perpindahan panas yang berbeda pada tiap-tiap termokopelnya. Semakin dekat posisi termokopel dengan sumber panas tanpa ada pembatas maka semakin cepat pula kenaikan temperaturnya dan semakin sedikit juga panas yang terbuang sehingga temperaturnya relatif tinggi. Sebaliknya, semakin jauh posisi pemasangan termokopel maka semakin lambat pula kenaikan temperatur dan semakin besar juga panas yang terbuang sehingga temperaturnya relatif rendah.

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian analisa buangan kalo pada HES berdasarkan hasil pengolahan data berupa perhitungan dan grafik menunjukkan bahwa panas yang terbuang paling rendah berada pada detik 2890 HES melakukan eksperimen yaitu sebesar 14.471,738 watt dan panas yang terbuang paling rendah yaitu pada detik 0 HES melakukan eksperimen yaitu sebesar 17.770,983 watt. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur HES pada saat eksperimen maka semakin sedikit pula panas yang terbuang, sebaliknya semakin rendah temperatur HES pada saat eksperimen maka semakin besar pula panas yang terbuang.

Penghargaan

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kepala PTRKN BATAN atas izinnya untuk pelaksanaan penelitian tugas akhir. Terimakasih disampaikan kepada *staff* laboratorium Termohidrolika 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] T. H. Rasyid, "Perkembangan Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia," *Indones. J. Agric. Econ.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–38, 2010.
- [2] Badan Tenaga Nuklir Nasional, "Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir," *Badan Tenaga Nuklir Nasional*. [Online]. Available: <http://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir/pltn-infonuklir/generasi-pltn/924-pengenalan-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir>.
- [3] 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.
- [4] P. Joyosukarto, "Prakiraan Laju Aliran Massa Pada Model Fungsional Sistem Pendingin Relung Reaktor (Rccs) Mhtgr," *Pengemb. Nukl.*, vol. 2, pp. 117–134, 2000.
- [5] 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.
- [6] J. C. Conldin, *Modeling and Performance of the MHTGR Reactor Cavity Cooling System*. Washington DC: Division of Regulatory Applications, Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1990.
- [7] K. Takamatsu and R. Hu, "New reactor cavity cooling system having passive safety features using novel shape for HTGRs and VHTRs," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 77, pp. 165–171, 2015.
- [8] 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.
- [9] L. Buqhari, "Buku Ajar Perpindahan Panas Bagian I." 2004.