

Analisis Koefisien Perpindahan Kalor di Bagian Hot-Leg Berdasarkan Perubahan Daya Pemanas Pada Untai Fassip-06S

Analysis Of Heat Transfer Coefficient Inside Hot-Leg Based on Heater Power Variation In The Fassip-06S Loop

Ahmad Saputra¹, Roy Waluyo¹, Dwi Yuliaji¹, Rangga Aditya Faturahman¹, Muhammad Ahsan Fauzan¹, Putut Hery Setiawan², Hyundianto Arif Gunawan², Shendy Akbar Maryadi³, Sunandi Kharisma³, Mulya Juarsa^{2*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Kota Bogor, 16162 Indonesia

²Kelompok Riset Sistem Termofluida Reaktor Nuklir, Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Gd.80, KST. B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan 15314, Indonesia

³Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 55281 Indonesia

Abstrak. Kebutuhan energi listrik di Indonesia bersifat krusial, namun masih didominasi oleh penggunaan energi fosil. Mengingat keterbatasan cadangan fosil dan urgensi transisi energi berkelanjutan, optimalisasi Energi Baru Terbarukan (EBT) serta pengembangan sistem pendinginan pasif—khususnya sirkulasi alami pada reaktor nuklir—menjadi semakin penting. Penelitian ini dilakukan menggunakan fasilitas FASSIP-06S (Fasilitas Simulasi Sistem Pasif) di BRIN, yang memanfaatkan gaya apung akibat perbedaan densitas fluida (air) yang dipicu oleh gradien temperatur untuk menggerakkan aliran sirkulasi alami. Fokus utama penelitian adalah menganalisis pengaruh variasi daya pemanas ($P = 750$ W, 890 W, dan 1100 W) terhadap bilangan-bilangan tak berdimensi kunci—Reynolds (Re), Prandtl (Pr), dan Nusselt (Nu)—serta koefisien perpindahan kalor konvektif (h). Hasil pada kondisi *steady state* menunjukkan bahwa peningkatan daya pemanas secara konsisten meningkatkan laju aliran dan intensitas perpindahan panas: Re meningkat dari 3410 (750 W) menjadi 4660 (1100 W), mengindikasikan transisi ke aliran yang lebih turbulen; Pr menurun dari 2,8 menjadi 2,4 akibat penurunan viskositas dinamis pada suhu lebih tinggi; sementara Nu naik dari 21,3 menjadi 25,5 dan koefisien perpindahan kalor h meningkat dari 491 W/m²·°C menjadi 598 W/m²·°C, mencerminkan peningkatan signifikan dalam efektivitas konveksi. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa peningkatan daya termal memperkuat kinerja hidrodinamika dan termal sistem sirkulasi alami, memberikan dasar eksperimental yang relevan bagi pengembangan sistem keselamatan pasif pada reaktor nuklir generasi mendatang.

Kata kunci: Sirkulasi alami; FASSIP 06-S; Daya pemanas; Koefisien perpindahan kalor (h); Bilangan Nusselt (Nu)

Abstract. Abstract. Indonesia's electricity demand is critical yet remains heavily reliant on fossil fuels; given the limited fossil fuel reserves, optimizing New and Renewable Energy (NRE) and advancing research on passive heat transfer systems—particularly natural circulation in nuclear reactors—has become increasingly vital. This study employs the FASSIP-06S (Passive System Simulation Facility) at BRIN, a facility that operates on buoyancy-driven flow induced by temperature-dependent density variations in water. The research specifically investigates the effects of varying heater power inputs (750 W, 890 W, and 1100 W) on key dimensionless numbers and the convective heat transfer coefficient (h) under steady-state conditions. Results show that increasing heater power consistently enhances system performance: the Reynolds

* Penulis korespondensi: mulya.juarsa@brin.go.id

number (Re) rises (from 3410 to 4660), indicating a transition toward more vigorous, turbulent flow; the Prandtl number (Pr) decreases (from 2.8 to 2.4) due to temperature-induced reductions in fluid viscosity; while both the Nusselt number (Nu , from 21.3 to 25.5) and heat transfer coefficient (h , from 491 to 598 W/m²·°C) increase significantly, reflecting more vigorous convection and more efficient heat transfer. These findings confirm that higher heating power substantially improves the hydrodynamic and thermal performance of natural circulation loops, offering valuable insights for the design and optimization of passive cooling systems in advanced nuclear applications.

Keywords: Natural circulation; FASSIP 06-S; Heating power; Heat transfer coefficient (h); Number of Nussels (N_u).

1. Pendahuluan

Saat ini kebutuhan energi listrik di Indonesia masih menjadi faktor yang penting dalam kehidupan manusia saat ini. Energi listrik dibutuhkan dalam sektor bidang yaitu sektor rumah tangga, industri, bisnis, sosial, gedung kantor pemerintah, dan penerangan jalan umum. Kendati demikian, pasokan energi fosil seperti batu bara dapat habis seiring meningkatnya kebutuhan. Pasokan energi primer di Indonesia masih didominasi oleh sumber energi fosil seperti minyak bumi, batubara, dan gas, sedangkan pasokan dari Energi Baru Terbarukan (EBT) masih rendah. Mengingat cadangan energi fosil Indonesia yang terbatas maka dipandang perlu untuk segera mengoptimalkan pemanfaatan sumber EBT [1]. Sementara itu Indonesia memiliki berbagai jenis energi baru terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Sebuah pembangkit daya thermal yang menggunakan satu atau beberapa reaktor nuklir sebagai sumber panasnya. Prinsip kerja sebuah PLTN hampir sama dengan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap, menggunakan uap bertekanan tinggi, untuk memutar turbin. Putaran turbin inilah yang diubah menjadi energi listrik. Perbedaannya ialah sumber panas yang digunakan untuk menghasilkan panas. Sebuah PLTN menggunakan Uranium sebagai sumber panasnya. Reaksi pembelahan (fisi) inti Uranium menghasilkan energi panas yang sangat besar [2].

Berdasarkan peristiwa tersebut, maka dibutuhkan sistem keselamatan pasif untuk bisa mendinginkan sisa panas pada reaktor nuklir. Salah satu konsep yang terus dikembangkan yaitu sistem keselamatan pasif. Fitur-fitur keselamatan pasif terdiri dari sistem shutdown pasif dan sistem pendinginan pasif pasca pemadaman (shutdown) dan mengungkung zat radioaktif agar tidak terlepas lingkungan. Sistem pemadaman pasif adalah suatu mekanisme yang akan memadamkan reaktor yang dipicu oleh gangguan yang mengarah kepada kecelakaan [3]. Teknologi sistem pendingin pasif adalah aliran fluida yang bergerak tanpa adanya gangguan gaya dari luar yang disebut dengan sirkulasi alam (*natural circulation*) yang terjadi karena adanya perbedaan densitas akibat pemuian fluida setelah peningkatan temperatur [4].

Sistem perpindahan panas dalam pipa, terutama pada bagian *hot-leg* dan *cold-leg*, memainkan peran krusial dalam efisiensi operasional berbagai instalasi industri dan pembangkit listrik. Koefisien perpindahan kalor (heat transfer coefficient) yang optimal pada bagian-bagian tersebut sangat bergantung pada desain sistem dan parameter operasional, termasuk daya pemanas yang diterapkan.

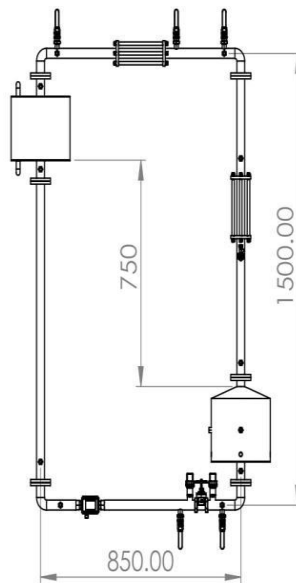
FASSIP 06S (Fasilitas Sistem Pemanas 06S) merupakan sistem yang mengatur distribusi daya pemanas dalam instalasi perpindahan panas. Perubahan daya pemanas pada unit FASSIP 06S dapat mempengaruhi temperatur fluida yang mengalir melalui pipa, yang pada gilirannya mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor. Fluktuasi daya pemanas dapat menyebabkan perubahan suhu yang signifikan, mempengaruhi viskositas, densitas, dan kecepatan aliran fluida, yang semuanya berkontribusi pada perubahan koefisien perpindahan kalor.

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini menunjang penelitian-penelitian lainnya yang fenomena sirkulasi alami dan sistem pendingin pasif pada reaktor nuklir. Topik fenomena sirkulasi alam ini sangat dekat dengan dibidang konversi energi, sehingga penelitian tersebut dilakukan di Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dengan dibangunnya Fassip-06S. Fasilitas simulasi ini menggunakan prinsip perbedaan densitas air akibat perbedaan temperatur antara tangki panas *heater* yang mengakibatkan terjadinya menurunnya densitas air fenomena ini disebut dengan gaya apung (*buoyancy*), dan ketika air mencapai *cooler* densitas air akan meningkat yang menyebabkan air jatuh mengalir kembali ke *heater* yang terjadi karena adanya gaya gravitasi [5]. Akibatnya, air akan mengalami perubahan densitas yang menyebabkan terjadinya aliran dari bagian panas ke bagian dingin. Peningkatan laju aliran akibat peningkatan variasi tekanan sangat mempengaruhi laju aliran sirkulasi alami. Semakin tinggi tekanan maka semakin cepat pula laju aliran yang terjadi dalam pip [6]. Penelitian yang terkait dalam investigasi laju aliran yang terjadi *passive system cooling system loop* [7]. Perhitungan berdasarkan berdasarkan variasi daya yang dilakukan pada fasilitas yang di sebut FASSIP- 3NT. Hasil dari penelitian tersebut adanya perbedaan energi kalor yang terbuang di lingkungan dan didalam air sekunder.

2. Metode

2.1 Untai rectangular

Untai rektanguler merupakan tempat pengisian fluida kerja (air). Untai rektanguler adalah untaian pipa berbentuk persegi panjang yang menghubungkan setiap komponen FASSIP-06S. Pada untaian rektanguler inilah aliran fluida dan fenomena sirkulasi alami terjadi. Perbedaan tekanan hidrostatik karena kerapatan akan menyebabkan gradien kerapatan yang menggerakkan air untuk mengalir di dalam *loop* [8]. Analisis membandingkan angka *Reynolds* rata-rata pada keadaan stabil dengan perubahan kepadatan dan viskositas cairan air berdasarkan pengaturan suhu di Tangki Pemanas Air (WHT) [9]. Untai Rektanguler FASSIP- 06S digunakan fasilitas eksperimen mengenai sirkulasi alami dengan rejim aliran satu fase dan dua fase yang bekerja pada tekanan rendah, dimana alat ini di buat dengan konsep rektanguler loop atau bentuk segi empat dengan panjang 1,5 meter dan lebar 0,85 meter menggunakan pipa SS SCH 10S dengan diameter 1 inch. FASSIP merupakan singkatan Fasilitas Simulasi Sistem Pasif dengan penomoran 06 yang di maksudkan sebagai nomor urut dari pembuatan generasi sebelumnya. Keterangan TP merupakan Two Phase yang berarti alat ini memiliki aliran dua fase merupakan generasi kedua. Hasilnya menunjukkan bahwa aliran fluida meningkat seiring suhu, menurunkan kepadatan fluida dan meningkatkan gaya apung [10]. Fasilitas tersebut bisa di lihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Untai rectangular FASSIP 06-S

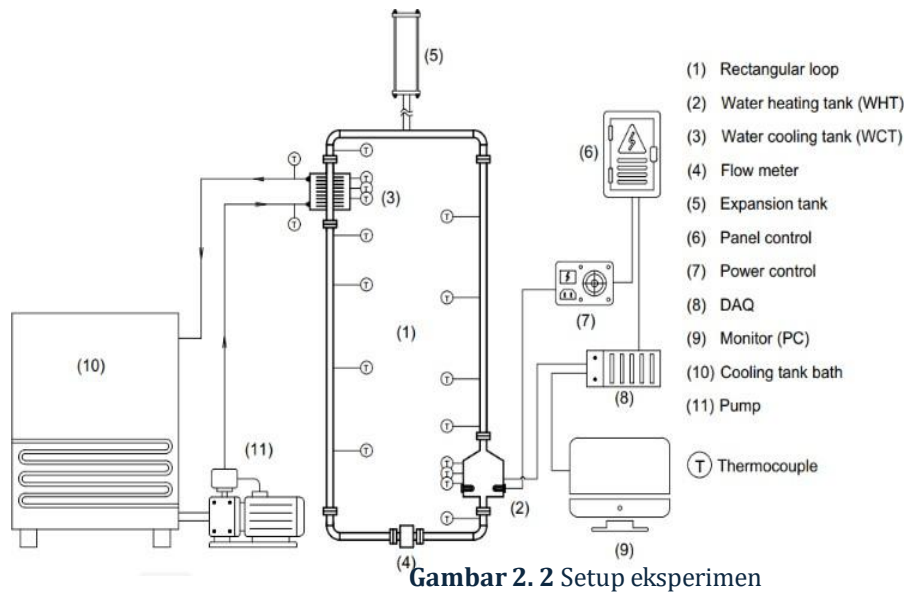
2.2 Prosedur pengambilan data

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan Untai Rektangular FASSIP-06S, terdapat beberapa tahapan untuk melakukan penelitian ini, sebagaimana penelitian dilakukan sebagai berikut yaitu:

1. Menghidupkan power pada panel box untai rektangular dan sistem pendingin.
2. Memasukkan fluida kerja pada untai rektangular.
3. Menghidupkan condenser dan mengatur temperatur air pendingin.
4. Menghidupkan pompa sirkulasi untuk menghilangkan bubble pada untai rektangular.
5. Menghidupkan pompa cooler.
6. Mengatur laju aliran pada sistem pendingin.
7. Menghidupkan *heater* melalui MCB berdasarkan jumlah daya yang di perlukan.
8. Membuka program Lab-View untuk pengoperasian Untai Rektangular FASSIP-06S.
9. Menentukan suhu WHT
10. Pengujian berjalan dan pengambilan/pencatatan data berdasarkan eksperimen yang telah ditentukan.
11. Data perolehan eksperimen dianalisa.
12. Memperoleh data hasil eksperimen.

2.3 Setup eksperimen

Setup eksperimen terdiri atas Untai Rektangular FASSIP-06S dihidupkan melalui panel



Gambar 2. 2 Setup eksperimen

listrik. Kemudian operasikan Untai Rektanguler FASSIP-06S melalui komputer dengan menggunakan software LabView. Untuk memulai eksperimen diperlukan penentuan temperatur pada tangki pemanas dan menentukan jangka waktu eksperimen. **Gambar 2.2** menyajikan diagram skematik dari "Setup Eksperimen" yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan deskripsi di atas gambar, setup ini terdiri atas Untai Rektanguler FASSIP-06S yang dioperasikan melalui panel listrik dan dikendalikan oleh komputer menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Diagram ini secara visual menggambarkan tata letak berbagai komponen yang terlibat dalam eksperimen.

2.4 Koefisien perpindahan kalor

Koefisien perpindahan kalor adalah ukuran seberapa mudah panas dapat berpindah antara suatu permukaan padat dan fluida (cair atau gas) yang bergerak di atasnya. Secara sederhana, ini menunjukkan efektivitas perpindahan panas melalui lapisan batas antara permukaan dan fluida. Koefisien pindah panas digunakan dalam perhitungan pindah panas konveksi atau perubahan fase antara cair dan padat. Koefisien pindah panas banyak dimanfaatkan dalam ilmu termodinamika dan mekanika serta. Perhitungan koefisien pindah panas dapat diperkirakan dengan hanya membagi konduktivitas termal dari fluida dengan satuan panjang, namun untuk perhitungan yang lebih akurat seringkali digunakan bilangan Nusselt, yaitu satuan tak berdimensi yang menunjukkan rasio pindah panas konvektif dan konduktif normal terhadap bidang batas [11]. Berikut ini merupakan tahapan untuk menghitung nilai koefisien perpindahan kalor pada pipa:

1. Temperatur dinding pipa bagian dalam

Persamaan (1) digunakan untuk menghitung temperatur dinding pipa bagian dalam ($T_{wall,in}$)

$$T_{wall,in} = T_{wall,out} + \frac{Q}{4 K_L} \left[\frac{w(1 - Inw) - 1}{w - 1} \right] \quad (1)$$

- ($T_{wall,out}$) : Temperatur permukaan luar pipa
 Q : Laju perpindahan kalor
 k : Konduktivitas termal
 L_H : Panjang pipa

w : geometri

2. Faktor geometri pipa (w)

Persamaan (2) nilai (w) ini penting untuk menghitung persamaan (1) dan mencerminkan geometri annular atau ketebalan dinding pipa.

$$w = \left(\frac{r_{out}}{r_{in}} \right)^2 = \left(\frac{D_{out}}{D_{in}} \right)^2 \quad (2)$$

w : geometri

r_{out} : jari-jari luar

r_{in} : jari-jari dalam pipa

D_{out} : diameter luar

D_{in} : diameter dalam

3. Bilangan Nusselt number (N_u)

Persamaan (3) adalah Nusselt number (N_u), yang dihyung menggunakan korelasi empiris (berdasarkan data percobaan), yaitu korelasi Dittus-Boelter atau sejenisnya.

$$N_u = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right) \quad (3)$$

Re : Bilangan reynolds

Pr : Bilangan prandelt

μ : Viskositas fluida

μ_w : Viskositas fluida pada dinding

Korelasi ini umum digunakan untuk aliran trubulen didalam pipa dan memungkinkan perhitungan N_u yang lebih akurat dengan mempertimbangkan perubahan viskositas didekat dinding.

4. Bilangan Prandlt (Pr)

Persamaan (4) mendefinisikan bilangan prandlt (Pr), yang menunjukkan rasio difusivitas momentum terhadap difusivitas termal.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (4)$$

C_p : Kapasitas kalor

μ : Viskositas

k : Konduktivitas termal

Bilangan ini menunjukkan seberapa cepat kalor menyebar relative terhadap momentum dalam fluida

5. Bilangan Nusselt

Persamaan (5) adalah definisi dasar dari bilangan nusselt (N_u)

$$N_u = \frac{hD}{k} \quad (5)$$

h : Koefisien perpindahan kalor

D : Diameter pipa

k : Konduktivitas termal

6. Koefisien perpindahan kalor

Persamaan (6) menghitung koefisien perpindahan kalor (h)

$$h = N_u \frac{k}{D} \quad (6)$$

h : Koefisien perpindahan kalor

N_u : Nusselt number

k : Konduktivitas termal

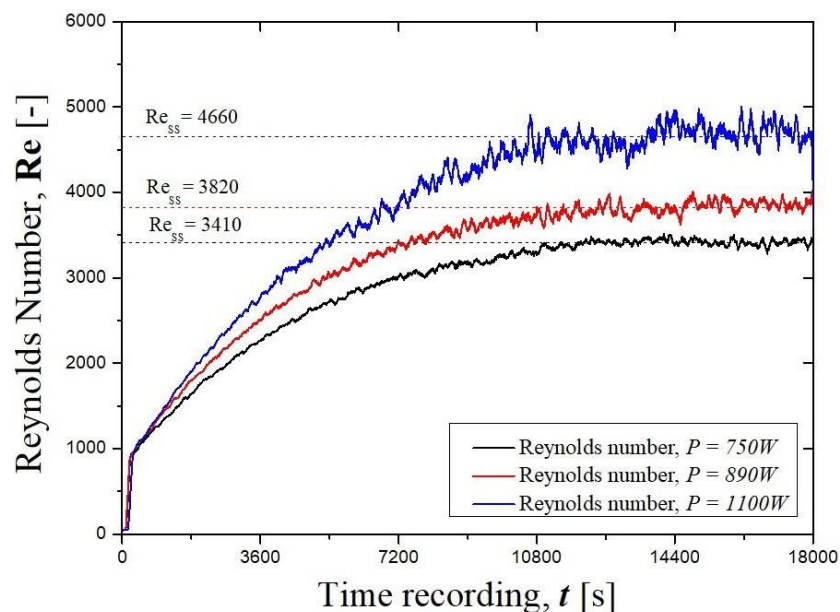
D : Diameter pipa

Koefisien (h) adalah nilai yang sangat penting karena secara langsung menunjukkan efisiensi perpindahan panas antara permukaan dinding pipa dan fluida yang mengalir. Semakin besar (h), semakin baik perpindahan kalornya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh daya pemanas terhadap bilangan Reynolds Number

Dalam Analisis ini difokuskan pada bagian peningkatan daya pemanas dengan tiga variasi daya : 750 W, 890W, dan 1100W yang diukur dalam bilangan reylods dapat dilihat pada Gambar 1.

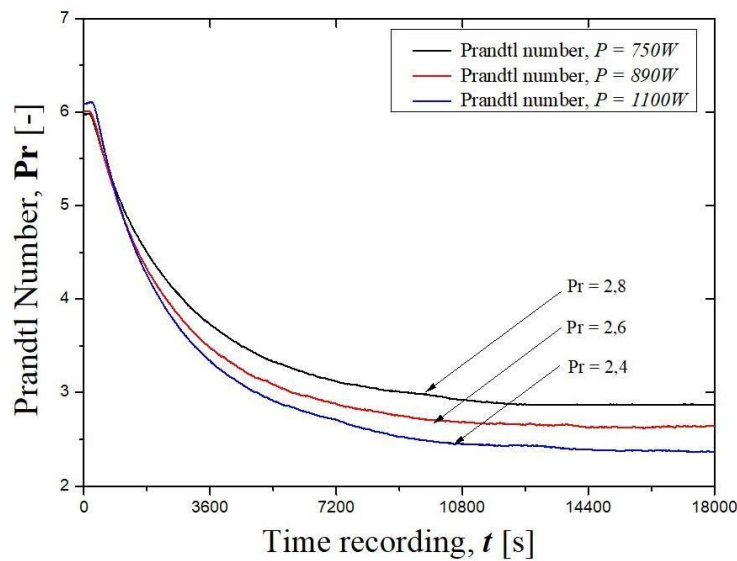


Gambar 1. Pengaruh daya pemanas terhadap Reynolds number

Gambar 1. Menunjukkan pengaruh daya pemanas terhadap bilangan reylods (Re) meningkat seiring waktu, pada semua percobaan bilangan reylods (Re) dimulai dari 0 dan terus meningkat seiring berjalannya waktu. Ini berarti aliran fluida menjadi semakin cepat atau semakin turbulen, setelah beberapa lama (sekitar 14400 detik) nilai Reynolds (Re) pada setiap garis cenderung stabil. Nilai stabil ini disebut Reynolds number steady state (Re_{ss}). Ketika daya pemanas (P) ditingkatkan, maka nilai Re yang stabil (Re_{ss}) juga meningkat. Maka (P) = 750W $\rightarrow$ (Re_{ss}) = 3410 turbulen, (P) = 890W $\rightarrow$ (Re_{ss}) = 3820 turbulen, (P) = 1100W $\rightarrow$ (Re_{ss}) = 4660 turbulen.

3.2 Pengaruh daya pemanas terhadap bilangan Prandlt Number

Dalam Analisis ini difokuskan pada bagian peningkatan daya pemanas dengan tiga variasi daya: 750 W, 890W, dan 1100W yang diukur dalam bilangan Prandtl Number dapat dilihat pada Gambar 2.

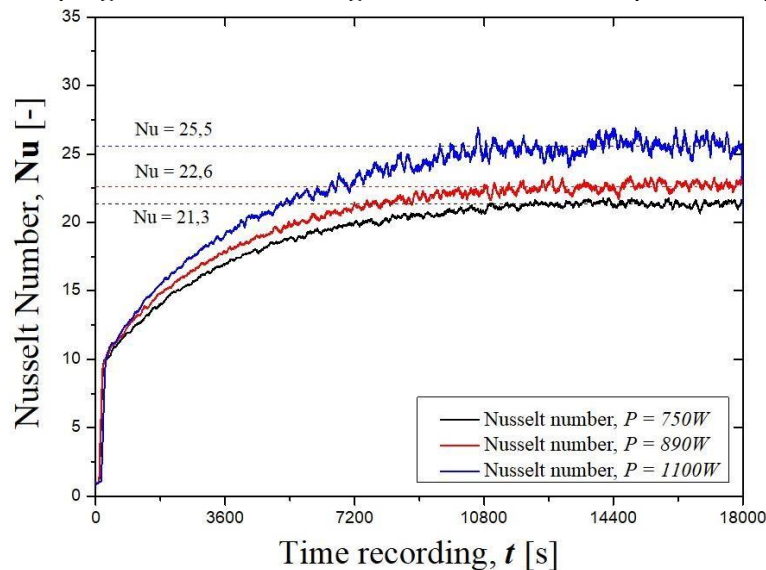


Gambar 2. Pengaruh daya pemanas terhadap prandtl number

Gambar 2 menunjukkan bagaimana bilangan Prandtl Pr dari suatu fluida berubah seiring dengan waktu. Ketika fluida tersebut dipanaskan menggunakan tingkat daya yang berbeda, seiring waktu berjalan (dari 0 hingga sekitar 7200 s), bilangan Prandtl menurun dengan cepat. Penurunan ini terjadi karena pemanas menyala suhu fluida naik dan peningkatan suhu menyebabkan viskositas fluida turun drastis, sehingga nilai Pr turun. Setelah waktu yang cukup lama (sekitar 14400s), kurva mulai mendatar dan mencapai nilai yang relatif konstan (steady-state) maka $(P) = 750W \rightarrow (Pr) = 2,8$. $(P) = 890W \rightarrow (Pr) = 2,6$. $(P) = 1100W \rightarrow (Pr) = 2,4$.

3.3 Pengaruh daya pemanas terhadap bilangan Nusselt Number

Dalam Analisis ini difokuskan pada bagian peningkatan daya pemanas dengan tiga variasi daya: 750 W, 890W, dan 1100W yang diukur dalam bilangan Nusselt Number dapat dilihat pada Gambar 3.

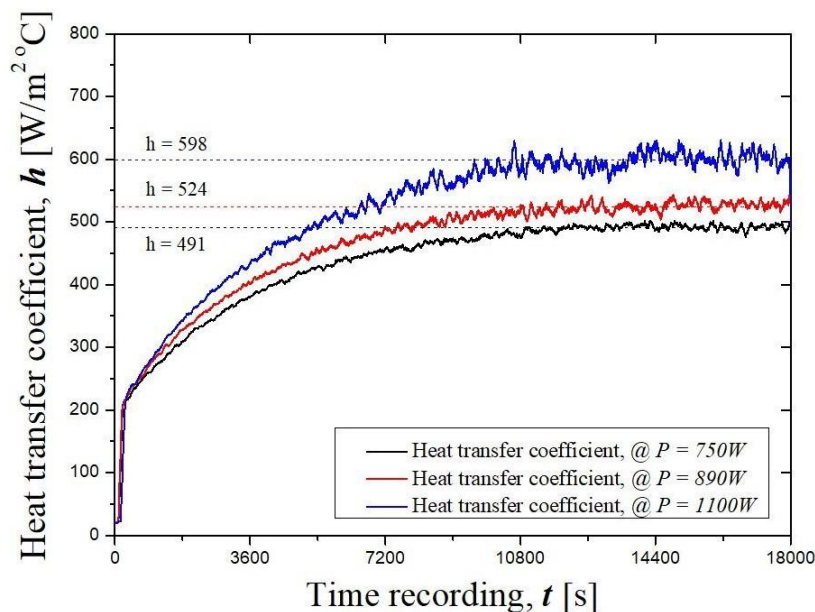


Gambar 3. Pengaruh daya pemanas terhadap nusselt number

Gambar 3 menunjukkan bagaimana Bilangan Nusselt (N_u) dari suatu sistem fluida berubah seiring dengan waktu ketika fluida dipanaskan menggunakan tiga tingkat daya yang berbeda. Semua fluida dimulai dari nilai Bilangan Nusselt yang sangat rendah, mendekati nol. Ini wajar karena pemanasan baru dimulai. Dalam beberapa ribu detik pertama, (N_u) meningkat tajam. Ini terjadi karena suhu fluida naik, menyebabkan perbedaan suhu yang lebih besar (mendorong konveksi alami) dan meningkatkan laju aliran, sehingga perpindahan panas konveksi menjadi jauh lebih kuat daripada konduksi. Setelah waktu yang cukup lama (sekitar 10800s ke atas), kurva mulai mendatar dan berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan (steady state) maka (P) = 750W $\rightarrow$ (N_u) = 21,3. (P) = 890W $\rightarrow$ (N_u) = 22,6. (P) = 1100W $\rightarrow$ (N_u) = 25,5.

3.4 Pengaruh daya pemanas terhadap *heat transfer coefficient*

Dalam Analisis ini difokuskan pada bagian peningkatan daya pemanas dengan tiga variasi daya: 750 W, 890W, dan 1100W yang diukur dalam bilangan Prandtl Number dapat dilihat pada **Gambar 4**



Gambar 4. Pengaruh daya pemanas terhadap *heat transfer coefficient* (h)

Gambar 4 menunjukkan bagaimana Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (h) dari suatu sistem fluida berubah seiring waktu ketika fluida dipanaskan menggunakan tiga daya yang berbeda, Koefisien (h) dimulai dari nilai rendah. Dalam beberapa ribu detik pertama, (h) meningkat di semua kasus. Ini terjadi karena perbedaan suhu antara pemanas dan fluida mulai terbentuk dan laju aliran konveksi meningkat seiring fluida memanaskan. Setelah waktu yang cukup lama (sekitar 10800s ke atas), kurva mulai mendatar dan berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan. Ini adalah Kondisi Mapan (steady state), di mana laju perpindahan kalor mencapai titik relatif stabil. Maka (P) = 750W $\rightarrow$ (h) = 491 $W/m^2\text{°C}$ (P) = 890W $\rightarrow$ (h) = 524 $W/m^2\text{°C}$ (P) = 1100W $\rightarrow$ (h) = 598 $W/m^2\text{°C}$, semakin besar daya pemanas, semakin cepat dan efisien panas dipindahkan ke fluida.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai perpindahan koefisien heat transfer dibagian hot-leg pada untai FASSIP-06S dengan variasi daya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh daya pemanas terhadap Reynolds Number: Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dengan variasi daya didapatkan nilai rata-rata daya 750W dengan bilangan Re (3410) rezim alirannya adalah trubulen, pada daya 890W dengan bilangan Re (3820) rezim alirannya adalah trubulen, daya 1100W dengan bilangan Re (4660) rezim alirannya adalah trubulen.
2. Pengaruh daya pemanas terhadap Prandtl: Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan Penurunan ini terjadi karena pemanas menyala suhu fluida naik dan peningkatan suhu menyebabkan viskositas fluida turun drastis, sehingga nilai Pr turun. Setelah waktu yang cukup lama (sekitar 14400s), kurva mulai mendatar dan mencapai nilai yang relatif konstan (steady-state) maka $(P) = 750W \rightarrow (Pr) = 2,8$. $(P) = 890W \rightarrow (Pr) = 2,6$. $(P) = 1100W \rightarrow (Pr) = 2,4$.
3. Pengaruh daya pemanas terhadap bilangan Nusselt Number: Semua fluida dimulai dari nilai Bilangan Nusselt yang sangat rendah, mendekati nol. Ini wajar karena pemanasan baru dimulai. Dalam beberapa ribu detik pertama, (Nu) meningkat tajam. Ini terjadi karena suhu fluida naik, menyebabkan perbedaan suhu yang lebih besar (mendorong konveksi alami) dan meningkatkan laju aliran, sehingga perpindahan panas konveksi menjadi jauh lebih kuat daripada konduksi. Setelah waktu yang cukup lama (sekitar 10800s ke atas), kurva mulai mendatar dan berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan (steady state) maka $(P) = 750W \rightarrow (Nu) = 21,3$. $(P) = 890W \rightarrow (Nu) = 22,6$. $(P) = 1100W \rightarrow (Nu) = 25,5$.
4. Pengaruh daya pemanas terhadap heat transfer coefficient: Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dengan variasi daya didapatkan nilai rata-rata $(P) = 750W \rightarrow (h) = 491 W/m^2\text{°C}$ $(P) = 890W \rightarrow (h) = 524 W/m^2\text{°C}$ $(P) = 1100W \rightarrow (h) = 598 W/m^2\text{°C}$, semakin besar daya pemanas, semakin cepat dan efisien panas dipindahkan ke fluida.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN), BRIN, juga kepada NRTFSys. Research Group atas dukungannya dan keterlibatan dalam kegiatan penelitian ini. Penelitian ini sepenuhnya didanai dan merupakan bagian dari Program Riset Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) batch-1 LPDP Mandatori BRIN nomor kontrak B 811/II.7.5/FR/6/2022 dan B-2103/III.2/HK.04.03/7/2022 untuk tahun anggaran 2022-2023

Daftar Pustaka

- [1] Partahi H. Lumbangaol, "Energi Terbarukan Untuk Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia," *Jurnal Fakultas Teknik Volume II*, vol. 2, no. 2, pp. 2-3, 2017.
- [2] Batan.id, "Batan," [Online]. Available: <https://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir/pltn-infonuklir/generasi-pltn/924-pengenalan-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir>.
- [3] Andang Widiarto, "Reaktor Innovative Molten Salt (imsr) dengan sistem dengan sistem keselamatan pasif menyeluruh," *Teknologi Reaktor Nuklir*, pp. 10-20, 2011.
- [4] F. Neo, "Analisis Desain Konseptual Sistem Pendingin Pasif Pasca Shutdown Reaktor PCMSR," *International Journal of Education, Science, Technology and Engineering*, pp. 68-83, 2019.

- [5] Almadesya Rinaldi, "ESTIMASI LAJU ALIRAN SIRKULASI ALAM BERDASARKAN BEDA TEMPERATUR PADA UNTAI FASSIP-01," *Sigma Epsilon*, pp. 58-69, 2019.
- [6] Adrian, H., Roswandi, I., Gunawan, H. A., Sukarno, R., Rio, D., Syaka, B., Juarsa, M., "PERHITUNGAN ESTIMASI LAJU ALIRAN SIRKULASI ALAMI PADA UNTAI BERTEKANAN FASSIP-05.M," vol. 2, pp. 86-92, 2023.
- [7] D. haryanto, "EFISIENSI COOLING TANK SECTION UNTAI FASSIP-03 NT BERDASARKAN VARIASI DAYA PEMANAS HEATING TANK SECTION PADA KONDISI TUNAK," *TECHNOPEX-2022 Institut Teknologi Indonesia*, pp. 20-29, 2022.
- [8] Juarsa, M., Goeritno, A., dkk., "PASSIVE SYSTEM SIMULASITION FACILITY (FASSIP) LOOP," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir*, pp. 2355-7524, 2016.
- [9] Setiawan, P. H., Pamitran, A. S., Yuliaji, D., Irwansyah, R., & Juarsa, M., *Jurnal Polimesin*, vol. 5, p. 22, 2025.
- [10] Roswandi, I., & Pamitran. A. S., "Experimental investigation of the impact of non- uniform pipe diameters on natural circulation and dimensionless flow in in a rectangular loop," vol. 22, no. 5, pp. 383-389, 2025.
- [11] M. F. Karyadi, "Koefisien Perpindahan Kalor," *Koefisien Perpindahan Kalor*, pp. 1-12, 2014.