

ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR INTERMEDIATE TANK FASSIP-07 MENGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DINAMICS (CFD)

Analysis of Intermediate Tank Temperature Distribution FASSIP-07 Using Computational Fluid Dynamics (CFD) Method

Muhamad Dimas Prasetyo^{1*}, Zuliantoni¹, Mulya Juarsa², Sri Ismarwanti², Sunandi Kharisma³

¹Mechanical Engineering Study Program, University of Bengkulu Jl. W.R. Supratman Kandang Limun, Bengkulu

²Nuclear Reactor Thermal-Fluids System (NRTFSys) Research Group, Research Center for Nuclear Reactor Technology, Research Organization for Nuclear Energy, National Research and Innovation Agency (BRIN), KST. B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan 14314, Banten, Indonesia

³Department of Mechanical Engineering and Industry, Gadjah Mada University, Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Yogyakarta, Indonesia.

*) Email : dimasprstyo419@gmail.com

Submitted: 15 Januari 2025

Revised: 20 Maret 2025

Accepted: 25 Maret 2025

ABSTRACT

This study aims to understand the temperature distribution in the natural circulation system in the Intermediate Tank FASSIP-07 using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. Simulations were performed using Ansys Workbench R1 2024 software, with inlet temperature variations of 70°C, 80°C, and 90°C. The results showed that the highest temperature distribution was found at the inlet with a temperature of 90°C, while the outlet reached the lowest temperature at 70°C. This conclusion was obtained from the analysis of fluid flow driven by the buoyancy phenomenon due to differences in density. This study shows the potential for using a passive cooling system for nuclear reactors to improve safety in emergency conditions.

Keywords: Computational fluid dynamics, Temperature distribution, Intermediate tank, Nuclear reactors

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) menjadi solusi untuk menyediakan energi efisien dan aman. Namun, beberapa kecelakaan besar, seperti yang terjadi di Three Mile Island dan Fukushima, menekankan pentingnya sistem pendingin pasif yang tidak bergantung pada listrik. Sistem ini memanfaatkan sirkulasi alami untuk menghindari terjadinya overheating pada reaktor ketika terjadi gangguan pada sistem aktif. Penelitian ini dilakukan di Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN) BRIN, dengan menggunakan Untai FASSIP-07 Cascade sebagai model uji sistem pendingin pasif.

Beberapa kelebihan dari PLTN, antara lain menghasilkan energi dalam jumlah besar dengan menggunakan sedikit bahan bakar nuklir, menghasilkan energi tanpa emisi karbon dioksida (CO₂), yang membantu mengurangi dampak perubahan iklim dan polusi udara, PLTN dapat beroperasi secara terus-menerus selama berbulan-bulan tanpa gangguan besar dan memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi sehingga memerlukan area yang lebih kecil dibandingkan dengan beberapa sumber energi terbarukan dalam menghasilkan jumlah energi yang lebih besar.

Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN) membuat salah satu alat penelitian sistem pendingin pasif yaitu untai FASSIP-07 Cascade. Untai ini merupakan alat yang menggunakan prinsip sirkulasi alami dalam pengoperasiannya dan tidak menggunakan gaya eksternal, seperti pompa untuk bisa menggerakkan sebuah aliran. Untai FASSIP-07 Cascade terdapat berbagai komponen yaitu *water heating tank* (WHT) dan pemipaan, *Intermediate heat exchanger* (IHX), heat pipe. Pada WHT terdapat 4 buah heater yang memiliki daya total 20 kW. Air akan mengalami pemanasan sehingga air mengalami penurunan densitas menjadi rendah karena adanya gaya *buoyancy* dimana akibat perubahan densitas sehingga air dapat naik menuju IHX. Lalu pada IHX air mengalami pendinginan dan mengalami perubahan densitas kembali menjadi lebih tinggi. Dengan densitas yang lebih tinggi dan akibat gaya gravitasi air mengalir kembali ke bawah menuju ke WHT sehingga terjadilah siklus aliran alam tanpa menggunakan pompa. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik perubahan temperatur pada bagian IHX berdasarkan perubahan temperatur untai FASSIP-07 cascade.

2. TINJAUAN PUSTAKA

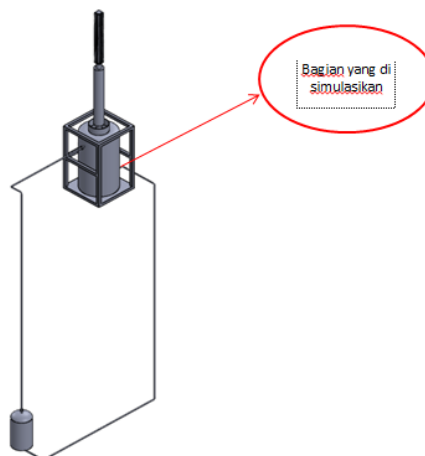
Pendingin reaktor nuklir adalah pendingin dalam reaktor nuklir yang digunakan untuk menghilangkan panas dari inti reaktor nuklir dan transfer ke generator listrik dan lingkungan. Seringkali, rantai dua loop pendingin digunakan karena loop pendingin primer mengambil radioaktivitas jangka pendek dari reaktor. Sistem pendingin pasif memungkinkan reaktor dan termal bisa dingin melalui sirkulasi alam tanpa harus dipompa. Sistem ini menjadi kabar baik bagi dunia yang membutuhkan alternatif energi lain yang rendah karbon demi menyelamatkan manusia dari krisis iklim. Sirkulasi alami adalah fenomena aliran yang terjadi karena perbedaan densitas akibat perubahan suhu tanpa menggunakan pompa, penting dalam aplikasi seperti reaktor nuklir dan sistem pendingin pasif.

Penggunaan sirkulasi alami dalam sistem termal, terutama dalam reaktor nuklir, menjadi semakin penting setelah insiden besar seperti bencana Fukushima Daiichi di Jepang pada tahun 2011. Insiden-insiden ini menyoroti kebutuhan mendesak akan sistem pendinginan pasif yang dapat beroperasi bahkan dalam situasi darurat seperti kehilangan daya total (*Station Blackout* atau SBO) atau *Loss of Coolant Accident* (LOCA). Meskipun demikian, tantangan signifikan tetap ada, terutama terkait dengan stabilitas aliran dalam sistem dua fase. Ketidakstabilan aliran, yang sering kali muncul dalam bentuk osilasi. Osilasi dalam aliran dapat menghasilkan getaran yang tidak diinginkan di dalam sistem. Getaran ini, jika terus terjadi, dapat menyebabkan kelelahan material, kerusakan mekanis, dan akhirnya kegagalan sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, mengendalikan atau mengurangi osilasi menjadi sangat penting untuk memastikan integritas dan keandalan sistem sirkulasi alami.

Komputasi aliran fluida dinamik (*computational fluid dynamic*) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan (model) matematika. Sebagai perangkat lunak CFD memberikan user kekuatan untuk mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik.

3. METODE PENELITIAN

Objek utama penelitian adalah Intermediate Heat Exchanger (IHX) pada alat uji Untai FASSIP-07 Cascade, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Untai ini merupakan alat simulasi sistem pendingin pasif yang menggunakan prinsip sirkulasi alami tanpa bantuan pompa eksternal.



Gambar 1. Fassip-07 CASCADE

Simulasi CFD dilakukan dengan menggunakan software ANSYS Fluent, yang melibatkan tiga tahap utama: Pre-processing, Solving, dan Post-processing. Pembuatan Geometri: Geometri model IHX dibuat menggunakan software Solidworks dan kemudian diekspor ke ANSYS Fluent. Komponen yang tidak menjadi fokus pengujian dihapus dari model. Pembuatan Mesh: Setelah geometri dibuat, model di-mesh untuk membagi volume fluida ke dalam sel-sel kecil guna meningkatkan akurasi simulasi. Penentuan Kondisi Batas: Kondisi batas diterapkan pada model, termasuk pemilihan jenis fluida (air dengan densitas $9,8 \text{ kg/m}^3$) dan penentuan kondisi inlet pada berbagai variasi temperatur (70°C , 80°C , dan 90°C). Pemilihan Mesh dan Workflow: Pilih menu Mesh pada ANSYS Fluid Flow untuk memulai simulasi. Workflow digunakan untuk memverifikasi setup simulasi. Pemilihan

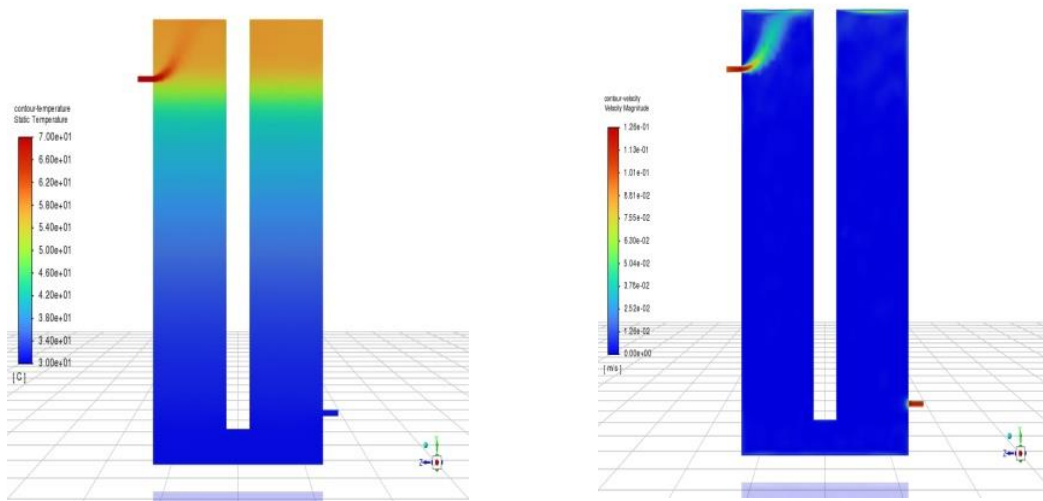
Fluida: Fluida yang digunakan adalah water-liquid. Kondisi boundary untuk inlet diatur pada temperatur yang bervariasi, yaitu 70°C, 80°C, dan 90°C. Iterasi: Simulasi dijalankan menggunakan 2000 iterasi untuk mencapai nilai konvergen yang minimal. Verifikasi Data: Data yang digunakan diverifikasi melalui menu Initialization.Run Calculation: Simulasi dijalankan dan hasil iterasi ditampilkan dalam bentuk kontur distribusi temperatur dan kecepatan aliran fluida pada IHX. Visualisasi: Hasil simulasi divisualisasikan dengan pola warna yang menggambarkan distribusi temperatur, di mana warna biru menunjukkan temperatur terendah dan warna merah menunjukkan temperatur tertinggi. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah Temperatur inlet: 70°C, 80°C, 90°C. Kecepatan aliran fluida: 0,1 m/s, Debit aliran: 3,34 LPM (liter per menit), Jenis fluida: Air (dengan densitas 9,8 kg/m³). Data hasil simulasi dianalisis untuk melihat distribusi temperatur dan kecepatan aliran fluida pada IHX. Simulasi menunjukkan bahwa distribusi temperatur meningkat seiring dengan peningkatan temperatur inlet. Arah aliran fluida juga dianalisis, di mana aliran fluida mengalir ke bagian atas IHX karena adanya perbedaan massa jenis dan efek bouyancy.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

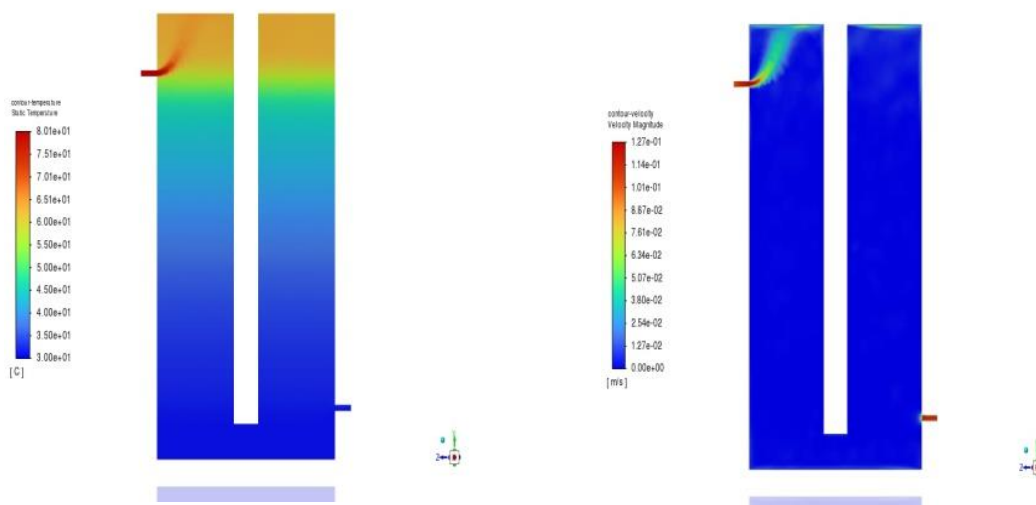
Setelah dilakukan pemodelan menggunakan software anys fluent di peroleh hasil pemodelan dengan menggunakan variasi tempeartur yang berbeda beda yaitu 70°C, 80°C dan 90°C.

4.1 Hasil pemodelan

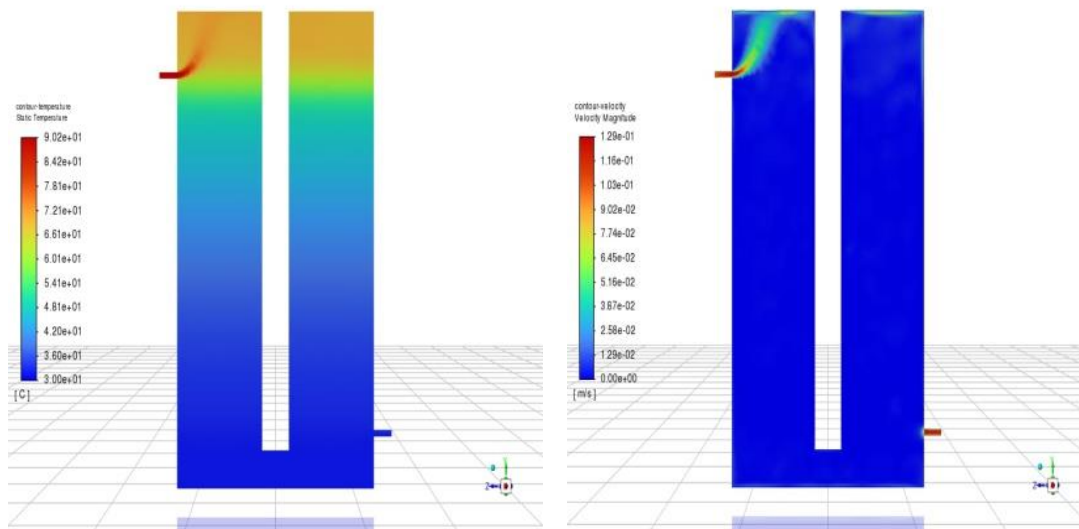
Hasil pemodelan distribusi temperature dan distribusi kecepatan aliran 70°C, 80°C, 90°C masing-masing ditampilkan pada Gambar 2- 4.



Gambar 2. distribusi temperature dan distribusi kecepatan aliran 70°C



Gambar 3. distribusi temperature dan distribusi kecepatan aliran 80°C



Gambar 4. distribusi temperature dan distribusi kecepatan aliran 90°C

4.2 Pembahasan

Dari simulasi program *Computational fluid dynamics* (CFD) pada kerja praktik di Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir didapatkan hasil berupa kontur distribusi temperatur dan kontur *velocity* aliran pada temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C dengan pada bagian heat pipe pada temperatur 28°C dan menggunakan kecepatan aliran sebesar 0,1 m/s atau memiliki debit aliran sebesar 3,34 LPM. Warna yang terlihat menjelaskan temperatur dan *velocity* aliran fluida. Dimulai dari warna biru tua, biru muda, hijau, kuning, oren hingga merah. Nilai temperatur dan *velocity* aliran fluida memiliki nilai terendah pada warna biru tua dan nilai tertinggi pada warna merah. Nilai *velocity* secara berurutan dari warna biru tua hingga merah akan meningkat. Perubahan elemen warna disebut fluida. Fluida disirkulasikan melalui sistem sirkulasi alami tanpa menggunakan pompa, sehingga fluida yang keluar dari bagian inlet bawah akan bersirkulasi kembali turun masuk ke bagian sumber pemanas kemudian fluida akan naik kembali ke pendingin. Pergerakan fluida ini disertai dengan perpindahan panas. Sehingga perpindahan panas yang terjadi merupakan perpindahan konveksi alami.

Kontur temperatur dan kontur *velocity* aliran fluida pada bagian inlet masuk dalam tampilan 2 dimensi di dalam tabung *Intermediate Heat Exchanger* (IHX) yang menampilkan arah aliran fluida dan temperatur fluida. Arah aliran dimulai dari warna merah sebagai saluran masuk dan warna biru merupakan saluran keluar. Dimana arah aliran yang masuk dari inlet fluida mengarah ke bagian atas permukaan tabung *Intermediate Heat Exchanger* (IHX). Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan massa jenis dari fluida yang masuk yang dimana fluida tersebut dalam keadaan panas dan terjadi *bouyanci* sedangkan untuk distribusi temperatur pada *Intermediate Heat Exchanger* (IHX) dapat dilihat pada hasil simulasi semakin tinggi temperatur maka persebaran panas dalam tabung akan lebih cepat menyebar.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari simulasi yang sudah dilakukan dapat diketahui bentuk arah aliran dari fluida yang masuk mengarah ke bagian atas tabung dan pada distribusi temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C dapat dilihat perbedaan di setiap permodelanya yaitu dimana semakin tinggi temperatur maka persebaran panasnya akan cepat menyebar pada bagian permukaan tabung dan akan merambat ke bawah.

5. KESIMPULAN

Simulasi menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu fluida, semakin cepat panas tersebar di dalam tabung *Intermediate Heat Exchanger* (IHX). Hal ini menegaskan bahwa sistem sirkulasi alami yang digunakan oleh FASSIP-07 Cascade berpotensi mengoptimalkan pendinginan reaktor nuklir, terutama dalam kondisi darurat. Penelitian ini membuka peluang untuk simulasi lebih lanjut dengan variasi kondisi aliran dan temperatur untuk mengevaluasi kinerja sistem pendingin pasif secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bastori I, Birmano MD. **2017**. Analisis Ketersediaan Uranium di Indonesia untuk Kebutuhan PLTN Tipe PWR 1000 MWe. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Vol. 19, No. 2, (2017) 95-102.

- [2] Broughthon JM, Kuan P, Petti DA, Tolman E. **2017**. *A Scenario On Three Mile Island Unit 2 Accident*, Nuclear Technology: 87(1): 34-53.
- [3] Samet JM, Chanson D. **2015**. Fukushima Daiichi Power Plant Disaster. 1: 51.
- [4] Juarsa M, Kiswanta, Edy S, Joko PW, Ismu H, Puradwi IW. **2010**. Fenomena Perpindahan Panas Pendidihan Berdasarkan Peristiwa *LOCA* dan Kecelakaan Parah. Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology: 11(1): 1-12.
- [5] Harjanto NT. **2008**. Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN sebagai Sumber Energi Listrik Nasional. Jurnal Batan;1(1):39–50.
- [6] BRIN. <https://www.brin.go.id>. diakses pada tanggal 20 september 2024
- [7] Juarsa M, Antariksawan AR, Kusuma MH, Haryanto D, Putra N. **2018**. Estimation of natural circulation flow based on temperature in the FASSIP-02 large-scale test loop facility. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science:105(1):0–7.
- [8] IAEA TECDOC. **2009**. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants.
- [9] Aroyyani M, Nuramal A, Hestiawan H. **2022**. Simulasi Analisis *Velocity* Aliran Fluida Pada Tangki Reaktor Nuklir Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Rekayasa Mekanik: 6(2): 83–88.
- [10] Ihsan S. **2018**. Analisis Bentuk Aliran pada Kondensor Tipe Shell Dan Tube Menggunakan Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics), Jurnal JIEOM: 1(1):. 15–18.