



Analisis Distribusi Termal Model Tabung *Rheology Test Apparatus* Sebagai Media Pengujian *Ultrafine Bubbles* (UFBs)

Meti Eliza Nopriani¹, Angky Puspuwan², Yovan Witanto³, Arif Adtyas Budiman⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

⁴Center for Nuclear Reactor and Technology, Nuclear Power Research Organization, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

¹metielizabkl788@gmail.com ²apuspuwan@unib.ac.id ³yovan@unib.ac.id ⁴arif041@brin.go.id

Abstract

The Fukushima Daiichi nuclear reactor accident has become a major concern in the development of safety design for advanced nuclear reactors. The reactor coolant system is part of the passive safety system, including the containment or reactor building cooling system. This system is designed to prevent damage to the reactor vessel structure and concrete building materials due to excessive heat release into the environment. The coolant flow is designed to move naturally without the help of a pump, utilizing the difference in fluid density as the main driver. The type of coolant plays a major role in generating the flow, especially in terms of its density properties. Fluids with a lower density than water can produce faster flow. One method to reduce the density of water is to insert fine bubbles known as ultrafine bubbles (UFB). To study the thermal characteristics of the fluid when heated, the Rheology Test Apparatus device is used. This study specifically examines the Rheology tube model. Analysis of temperature distribution in the tube is carried out using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations to understand the heat transfer mechanism. The validation process was carried out through experiments at a fluid temperature of 90°C, with a comparison of the temperatures at two points in the height of the tube, namely 0.16m and 0.8m, which are the locations of the heater and show the highest temperature.

Keywords : emergency cooler, ultrafine bubbles, thermal distribution, rheology tube, CFD

Abstrak

Kecelakaan reaktor nuklir Fukushima Daiichi menjadi perhatian utama dalam pengembangan desain keselamatan pada reaktor nuklir generasi lanjut. Sistem pendingin reaktor merupakan bagian dari sistem keselamatan pasif, termasuk sistem pendingin kontainmen atau bangunan reaktor. Sistem ini dirancang untuk mencegah kerusakan pada struktur bejana reaktor dan material beton bangunan akibat pelepasan panas berlebih ke lingkungan. Aliran pendingin didesain agar dapat bergerak secara alami tanpa bantuan pompa, memanfaatkan perbedaan massa jenis fluida sebagai penggerak utama. Jenis fluida pendingin sangat berperan dalam pembangkitan aliran, terutama dilihat dari sifat massa jenisnya. Fluida dengan massa jenis lebih rendah dibanding air dapat menghasilkan aliran yang lebih cepat. Salah satu metode untuk menurunkan massa jenis air adalah dengan menyisipkan gelembung halus yang dikenal sebagai *ultrafine bubbles* (UFBs). Untuk mempelajari karakteristik termal dari fluida tersebut saat dipanaskan, digunakan tabung *Rheology Test Apparatus*. Penelitian ini secara khusus mengkaji model tabung *Rheology*. Analisis distribusi temperatur dalam tabung dilakukan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) guna memahami mekanisme perpindahan panas. Proses validasi dilakukan melalui eksperimen pada temperatur fluida 90 °C, dengan perbandingan temperatur pada dua titik ketinggian tabung, yaitu 0,16 m dan 0,8 m, yang merupakan lokasi pemanas (*heater*) dan menunjukkan temperatur tertinggi.

Kata Kunci : pendingin darurat, *ultrafine bubbles*, distribusi termal, tabung *rheology*, CFD

1. Pendahuluan

Pembangkit tenaga listrik dapat dibedakan dan dipelajari dari berbagai macam segi, diantaranya mulai dari latar ekonomi, tersedianya alat dan bahan, keamanan kerja, pembiayaan pembangunan, keselamatan kerja, pencemaran lingkungan yang

terjadi akibat pembangunan pembangkit listrik, dan juga di nilai dari segi perawatan lainnya sehingga dari beberapa segi diatas dapat memenuhi kriteria yang ditentukan dalam membangun sebuah pembangkit listrik[1]. Dapat dilihat dari setelah terjadinya

kecelakaan reaktor nuklir di *Fukushima-Daiichi* pada tahun 2011, keselamatan dalam desain sebuah reaktor nuklir menjadi syarat mutlak dan penting yang harus diperhatikan dan di pertimbangkan. Apa yang terjadi pada kecelakaan reaktor tersebut menunjukkan bahwa sangat diperlukan sistem keselamatan yang sifatnya pasif (*passive safety*) dan melekat (*inherent safety*).

Sistem keselamatan seperti ini dapat berjalan tanpa harus dioperasikan oleh operator. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini memanfaatkan hukum alam yang terjadi berupa sirkulasi alamiah [2]. Reaktor nuklir adalah suatu alat untuk mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi itu. Reaktor nuklir ditetapkan sebagai alat yang menggunakan materi nuklir sebagai bahan bakarnya. Materi fisi yang digunakan sebagai bahan bakar misalnya uranium, plutonium dan lain-lainnya.

Untuk uranium digunakan uranium alam dan uranium diperkaya. Jadi secara umum, reaktor nuklir adalah tempat berlangsungnya reaksi nuklir yang terkendali. Untuk mengendalikan operasi dan menghentikannya digunakan bahan penyerap neutron yang disebut batang kendali. Jenis reaktor nuklir dibedakan berdasarkan besarnya energi kinetik neutron merupakan faktor utama dalam reaksi fisi berantai yaitu reaktor neutron panas, reaktor neutron cepat dan lain-lain [3].

Tipe reaktor nuklir ada 2 yaitu reaktor riset dan reaktor daya. Reaktor riset dipergunakan untuk kepentingan riset/penelitian. Reaktor riset juga dipergunakan untuk pengujian bahan, pendidikan/pelatihan dan bisa digunakan juga untuk memproduksi 6 radioisotop yang nantinya digunakan pada bidang kedokteran, material, pertanian, dan lain-lain [4]. Reaktor riset ini diusahakan agar daya yang dihasilkan sekecil mungkin. Indonesia sendiri memiliki 3 buah reaktor riset yakni reaktor TRIGA 2000 Bandung, reaktor Kartini Yogyakarta dan Reaktor G.A. Siwabessy, Serpong [5]. Reaktor daya merupakan reaktor nuklir yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik/pembangkit listrik. Reaktor ini memanfaatkan energi hasil dari reaksi fisi untuk menguapkan air sehingga uap tersebut dapat memutar turbin, dan turbin akan memutar generator listrik [6]. Reaktor nuklir juga merupakan sistem kompleks yang memanfaatkan reaksi fisi berantai untuk menghasilkan energi. Dalam pengoperasiannya, sistem pendingin memiliki peran vital untuk menjaga suhu tetap stabil dan mencegah kerusakan pada struktur reaktor.

Salah satu tantangan utama dalam sistem pendingin adalah memastikan sirkulasi fluida yang efisien tanpa bergantung pada pompa mekanis, terutama dalam sistem pendingin pasif pada reaktor generasi lanjut. Untuk mengatasi tantangan tersebut, dikembangkan teknologi baru yang memanfaatkan ultrafine bubbles (nanobubbles) sebagai fluida pendingin alternatif.

Fine Bubble atau *Nano bubble* merupakan salah satu sistem teknologi baru dalam budidaya. *Nano bubble* berupa gelembung gas berukuran <200nm dalam bentuk cair dan memiliki karakteristik cenderung tenggelam perlahan di dalam perairan secara bebas dan mampu meningkatkan pergerakan molekul air. Melalui pemanfaatan oksigen terlarut dalam perairan, *nano bubble* mampu mengoptimalkan kadar oksigen agar tetap stabil dalam waktu yang cukup lama. Oksigen dalam *nano bubble* akan menangkap partikel atau polutan yang tersuspensi dalam cairan dan terapung ke permukaan. *Nano bubble* biasanya digunakan untuk melakukan penguraian zat berbahaya dalam air, sirkulasi gas yang ada pada perairan, dan Gelombang ultrasonic [7].

Berdasarkan hasil penelitian atau perancangan (desain) yang telah dilakukan oleh 3 mahasiswa Universitas Padjadjaran melakukan penelitian tersebut dilakukan bersama dan dipantau oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) melalui pengembangan sistem pendingin yang menggunakan bahan gelembung berisi gas berukuran nano. Bahan ini dikenal sebagai *nano bubbles*, tujuannya untuk melihat karakteristik panas dari *nano bubbles* di dalam alat sistem pendingin pasif. Karakteristik itu mulai dari kapasitas menahan panas, massa jenis, dan kecepatan alirannya. Penelitian tentang *nano bubbles* bermula dari penelitian yang dilakukan oleh ilmuwan India, G Senthilkumar, pada *nano bubbles* yang disimpan dalam air panas. Akibatnya, gelembung diyakini memiliki kapasitas dan konduktivitas panas yang tinggi, tetapi mampu mendinginkan air lebih cepat daripada air biasa tanpa gelembung nano [8]. Gelembung *nano bubbles* berperan sebagai fluida yang menggantikan air agar gaya apung semakin besar dan kecepatan sirkulasi alam semakin cepat. Semakin cepat sirkulasi terjadi, semakin baik pula sistem pendingin bekerja. Hasilnya *nano bubbles* dapat mempercepat kecepatan pendinginan hingga 10 kali lipat. Air yang mengandung *nano bubbles* dapat memperingan pergerakan. Selain itu, air yang mengandung *nano bubbles* memiliki ketahanan panas lebih baik [9].

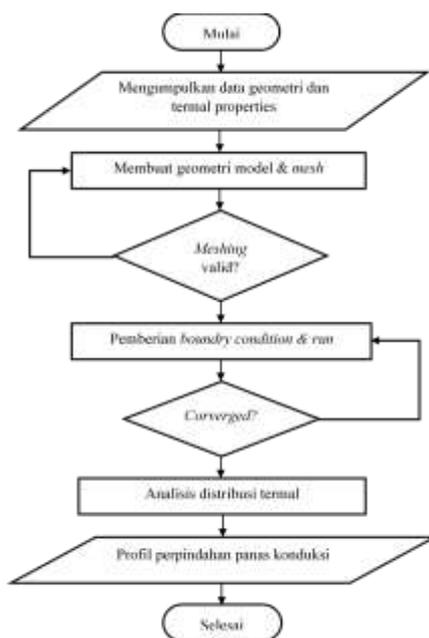
Untuk mengetahui karakteristik *nano bubbles* berdasarkan analisis distribusi termal dapat digunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. *CFD* adalah suatu cabang dinamika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida yang berkaitan dengan distribusi termal yang terjadi [10]. *CFD* memiliki tujuan memberikan kemudahan untuk memahami karakteristik fluida dengan melihat hasil berupa grafik, vektor, kontur, kurva dan 3 animasi. Sehingga untuk mengetahui karakteristik dari *nano bubbles* tersebut dibutuhkan media atau wadah uji yang memiliki homogenitas temperatur, dari dasar inilah perlu dilakukan simulasi distribusi termal para tabung

Rheology Test Apparatus dengan menggunakan 2 pemanas (*heater*) sebagai media atau wadah uji berdasarkan analisis termal menggunakan metode *CFD* untuk mendapatkan profil distribusi termal dari tabung tersebut.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dengan judul “Analisis Distribusi Termal Model Tabung *Rheology Test Apparatus* Sebagai Media Pengujian *Ultrafine Bubbles (UFBs)*” menggunakan *software Ansys Fluent* dengan analisis *Computational Fluid Dynamic (CFD)* untuk mendapatkan profil distribusi termal dari tabung tersebut dengan hasil perbandingan antara temperatur dengan letak/posisi ketinggian tabung yaitu dengan membandingkan temperatur fluida pada beberapa titik vertikal dari dasar hingga puncak tabung. Analisis ini penting karena dalam sistem pendingin pasif, perbedaan temperatur di sepanjang ketinggian tabung dapat memengaruhi pola aliran alami (*natural circulation*) fluida di dalam sistem. Semakin besar perbedaan temperatur antara bagian bawah dan atas tabung, semakin besar pula gaya apung yang dihasilkan, sehingga hal tersebut dapat meningkatkan laju sirkulasi fluida.

Simulasi dilakukan untuk mengamati gradien temperatur vertikal, di mana pemanas (*heater*) diletakkan pada posisi tertentu pada tabung. Perbandingan temperatur antar posisi ini digunakan untuk mengevaluasi seberapa efisien distribusi panas terjadi dalam tabung, serta sejauh mana karakteristik termal dari fluida *UFBs* berkontribusi terhadap dinamika aliran di dalam sistem. Sistematisa penelitian ini digambarkan dalam diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir

Penelitian ini dilakukan di Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Alat uji yang digunakan adalah tabung *Rheology Test Apparatus* yang merupakan alat laboratorium yang berbentuk pipa dan memiliki bagian bawah yang lebar untuk menjaga kestabilannya. Tabung ini berfungsi sebagai wadah pada pengujian *Ultrafine Bubbles (UFBs)*. Tabung *Rheology Test Apparatus* tersebut seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tabung *Rheology Test Apparatus*

Tabel 1 adalah spesifikasi tabung *Rheology Test Apparatus* ini diperlukan pada saat akan mendesain tabung tersebut pada *software* yang digunakan.

Tabel .1 Spesifikasi Tabung *Rheology Test Apparatus*

Properties	Keterangan
Material	Pyrex glass
Panjang tabung	26 cm
Diameter luar	2,6 cm
Diameter dalam	2,4 cm
kapasitas	100 ml

Pada penelitian ini analisis dilakukan dengan menggunakan *ANSYS Workbench* seperti pada Gambar 3. *ANSYS Workbench* adalah sebuah *platform* perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi dan analisis rekayasa dalam berbagai bidang teknik, seperti mekanika, termal, dan aliran fluida. *ANSYS Workbench* mengintegrasikan berbagai aplikasi simulasi yang ada di dalam satu lingkungan yang user-friendly, yang memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis struktural, termal, dinamis, elektromagnetik, dan simulasi fluida.

Keunggulan utama dari *ANSYS Workbench* adalah kemampuannya untuk menggabungkan berbagai disiplin ilmu teknik dalam satu sistem terintegrasi, memudahkan analisis secara menyeluruh. Ini digunakan oleh para insinyur dan desainer untuk memodelkan, menganalisis, dan mengoptimalkan desain produk dalam fase pengembangan. Pada *software ANSYS Workbench* terdapat beberapa *tools* yaitu *Static Structural*, *Thermal Analysis*, *Fluid Flow*

(Fluent), Electromagnetic (Maxwell) dan lain sebagainya. Tools yang digunakan yaitu Fluent. Fluent adalah salah satu dari jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. Fluent dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh (grid) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah, karena fluent menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap. Fluent didukung oleh jenis mesh tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan mesh campuran (*hybrid*). Fluent juga memungkinkan untuk memperhalus atau memperbesar mesh yang sudah ada.



Gambar 3. ANSYS Workbench

Sebelum melakukan proses simulasi langkah awal yang perlu dilakukan yaitu membuat desain dari tabung yang akan diuji pada Gambar 4. Pada dasarnya, dalam proses membuat geometri untuk simulasi pada Ansys Fluent, selain dengan menggunakan aplikasi tersebut dapat dilakukan juga dengan aplikasi lain seperti Gambit, Solidwork, Autocad, Inventor dan lain sebagainya yang selanjutnya di impor ke aplikasi Ansys Fluent. Pada penelitian ini pemodelan tabung Rheology Test Apparatus menggunakan aplikasi Solidwork.



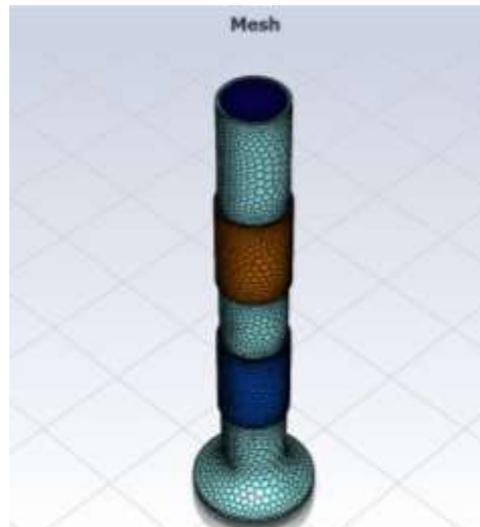
Gambar 4. Desain 3D Geometri Tabung

Komputasi aliran fluida dinamik (*computational fluid dynamics*) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan (model) matematika. Sebagai perangkat lunak CFD memberi user kekuatan untuk

mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskret (jumlah sel terhingga). Pada umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan simulasi CFD, yaitu:

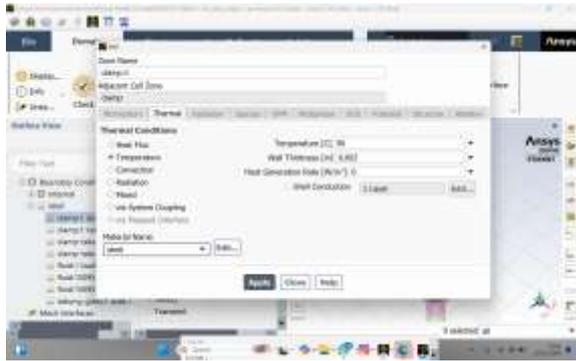
1. Pre-Processing
2. Processing
3. Post-Processing

Melakukan proses simulasi dengan Pre-Processing. Pre-Processing merupakan langkah pertama pada proses simulasi. Teknisnya meliputi membuat geometri, mengekspor geometri dalam paket CAD, membuat mesh dan menentukan kondisi batas pada model. Tahap-tahap Pre-Processing yaitu import geometri, identifikasi fluida dan proses *meshing*. Proses *meshing* seperti pada Gambar 5 bertujuan untuk membagi elemen model menjadi elemen-elemen kecil yang berfungsi sebagai wilayah untuk perhitungan dan iterasi dari sebuah simulasi, dimana semakin banyak elemen dibagi maka semakin akurat hasil yang didapatkan.



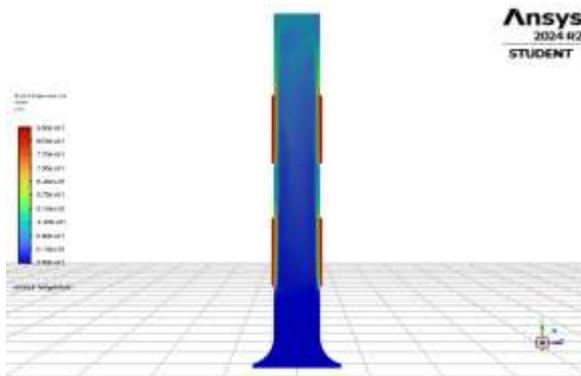
Gambar 5. Proses Meshing

Processing merupakan suatu proses perhitungan data-data yang telah di input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya perhitungan dilakukan hingga mendekati atau menuju *error* yang terkecil dan mencapai nilai konvergen. Pada Processing menginput material pada fluid menggunakan jenis fluida *water liquid (H₂O<1>)*, pada solid menggunakan jenis *steel* dan *glass*, untuk heater temperatur 90 °C dengan *wall thickness* 0.002 m, seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Menginput Data Properties

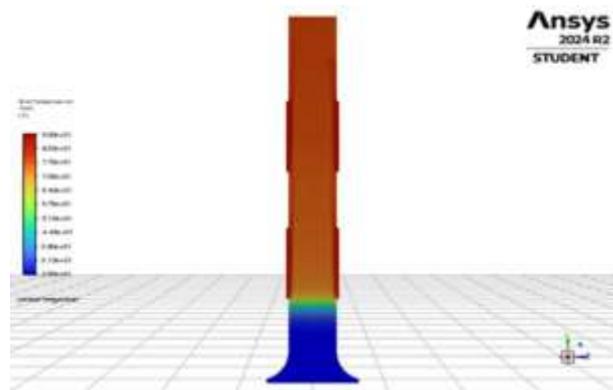
Post-Processing merupakan tahap akhir dalam proses CFD. Pada proses ini untuk *run calculation* dengan *iteration* 5000 pada Gambar 7. Hasil dari perhitungan disajikan ke dalam gambar, kurva, warna dan animasi dengan pola warna tertentu.



Gambar 7. Run Calculation

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian yang telah dilakukan tentang analisis tabung *Rheology Test Apparatus* yang bertujuan untuk mendapatkan profil distribusi termal di sepanjang tabung tersebut. pengujian ini menggunakan tabung berkapasitas 100 ml dengan ketinggian 26 cm dan materialnya adalah *pyrex glass measurement*. Pada analisis ini langkah awal yang dilakukan yaitu membuat desain tabung *rheology* dengan menggunakan *software solidWork* selanjutnya desain tersebut di *import* ke *ansys fluent*. Temperatur yang digunakan pada analisis ini yaitu 90 °C dengan wall thickness 0,002 cm. Material yang digunakan yaitu pada fluida menggunakan *water-liquid <H₂O>* dan pada *solid* menggunakan *steel* dan *glass*. Untuk menjalankan perhitungan analisis ini menggunakan iterasi sebesar 5000. Dari simulasi program *Computational fluid dynamics (CFD)* pada tabung *Rheology Test Apparatus* didapatkan hasil berupa kontur dan profil distribusi temperatur disepanjang sumbu Y (aksial).

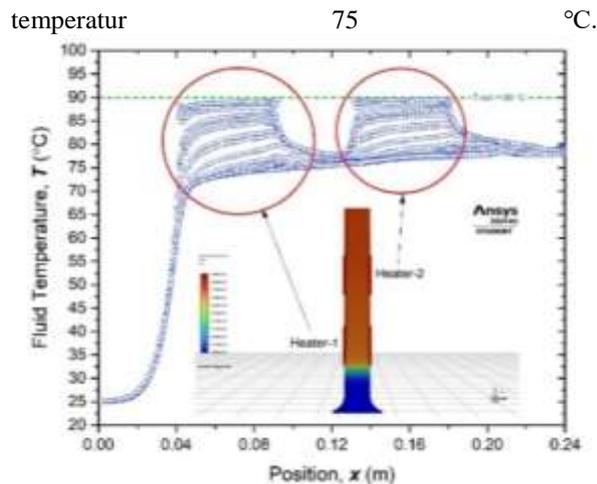


Gambar 8. Hasil Kontur Tabung

Pada kontur yang didapatkan pada Gambar 8, warna yang terlihat menjelaskan temperatur fluida ketika dipanaskan. Dimulai dari warna biru tua hingga warna merah terlihat jelas perbedaan yang signifikan, di mana setiap kenaikan temperatur warnanya akan berubah. Nilai temperatur memiliki nilai terendah pada warna biru tua dan nilai tertinggi pada warna merah. Nilai temperatur secara berurutan dari warna biru hingga merah menandakan temperatur yang meningkat.

Pada Gambar 9 profil distribusi temperatur pada sumbu-Y adalah nilai temperatur sedangkan pada sumbu-X adalah posisi ketinggian tabung. Pada rentang ketinggian 0.00 m hingga 0,03 m tidak terlihat adanya perubahan temperatur yang signifikan. Hal ini terjadi karena saat fluida mulai dipanaskan, energi panas yang masuk menyebabkan perubahan massa jenis (densitas), sehingga fluida cenderung bergerak ke atas. Akibatnya, sebagian fluida menguap dan keluar dari sistem sebelum sempat menyerap panas secara merata.

Proses ini menyebabkan fluida kehilangan panas (*heat loss*) sehingga mengakibatkan area tersebut tidak menunjukkan distribusi temperatur yang jelas. Temperatur pada bagian bawah perlahan akan meningkat seiring waktu jika tidak ada panas atau kalor yang terbuang ke lingkungan (*heat loss*). Selama ada *heat loss* searah sumbu-Y, maka homogenitas temperatur akan sulit tercapai. Hal tersebut akan tercapai apabila tabung yang diuji dalam keadaan tertutup sehingga tidak ada panas atau kalor yang terbuang. Pada bagian 0,04 m temperatur tabung yaitu 25 °C sampai dengan 70 °C disini temperatur perlahan mengalami peningkatan. Pada posisi 0.08 m dan 0.16 m berada pada temperatur 90 °C. Sedangkan pada posisi tabung 0,20 m sampai 0,24 m temperatur mengalami penurunan yaitu pada



Gambar 9. Profil Distribusi Temperatur terhadap Letak/Posisi Tabung

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan program *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, dapat disimpulkan bahwa pada tabung *Rheology Test Apparatus*, distribusi temperatur sepanjang tabung menunjukkan adanya perbedaan suhu yang cukup signifikan dimana semakin dekat suatu titik terhadap posisi pemanas (*heater*), maka temperatur di titik tersebut akan semakin tinggi. Temperatur tertinggi, yaitu sebesar 90 °C, tercatat pada ketinggian 0,16 m dan 0,8 m yang merupakan posisi/letak dari elemen pemanas. Hal ini mengindikasikan bahwa temperatur dalam tabung tidak tersebar secara merata (tidak homogen). Dengan demikian, hasil analisis distribusi termal menunjukkan bahwa tabung *Rheology Test Apparatus* belum memenuhi standar kelayakan sebagai media eksperimen, karena tidak mampu menciptakan kondisi temperatur yang seragam di seluruh bagiannya.

Daftar Rujukan

- [1] Rijanti, A. P., Lumbanraja, S. M., 2012. Studi Prospek PLTN Daya Kecil Nuscale di Indonesia. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 14 (1), pp. 57–64.
- [2] Riupassa, R. D., Basar, K., Waris, A., 2020. Pemodelan Sirkulasi Alamiyah Bahan Pendingin pada Reaktor Nuklir dengan Variasi Perbedaan Temperatur Pemanas dan Pendingin. *Seminar Kontribusi Fisika (SKF 2019)*, Bandung, Juni 2020.
- [3] Santiani., 2011. *Nuklir, Fisika Inti dan Politik Energi Nuklir*. 1st ed. Indonesia: Intimedia.
- [4] Adiwardojo, Lasman, A. N., Ruslan, Parmanto, E. M., Effendi, E., 2010. Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya. In *Pdin-Batan*, pp. 21.
- [5] Umah, A., 2020. RI Sudah Punya 3 Reaktor Nuklir. (Hitting the headlines article) [Online] (Updated 15 October 2020). Tersedia di : <https://www.cnbcindonesia.com/news/20201015190038-4-194713/ri-sudah-punya-3-reaktor-nuklir-tanda-mampu-operasikan-pltn>
- [6] Zohuri, B., 2017. Acombined Cycle Power Conversion System For Small Modular LMFBRs. *Nuclear Energy Perspectives, Challenges and Future Direction*, pp. 1-83.
- [7] Kurnia, R., JALA, 2023. Mengenal Teknologi Nanobubble. (Hitting the headlines article) [Online] (Updated 13 November 2023). Tersedia di : <https://jala.tech/id/blog/tips-budidaya/mengenal-teknologi-nanobubble-1>
- [8] Batan. 2021. Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Jakarta : Pusat Diseminasi Iptek Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional
- [9] Kompas, 2019. Prestasi mahasiswa Unpad, kembangkan nanobubble untuk reaktor nuklir. (Hitting the headlines article) [Online] (Updated 15 Juli 2019). Tersedia di : <https://edukasi.kompas.com/read/2019/07/15/19255841/prestasi-mahasiswa-unpad-kembangkan-nanobubble-untuk-reaktor-nuklir>
- [10] Anderson, J. D., Jr., 1995. *Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications*. Amerika Serikat: McGraw-Hill, Inc.