

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALAMIAH PIPA BERBENTUK C MENGGUNAKAN NANO FLUIDA Al_2O_3 -AIR

David Rusli¹, As Natio Lasman², Ahmad Jibril³ & Diah Hidayanti Sukarno⁴

^{1,2}Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila Jakarta

³Program Studi Mekanisasi Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

⁴Badan Pengawas Tenaga Nuklir

E-mail: ruslidavid2@gmail.com

Abstrak: Salah satu cara untuk meningkatkan efektivitas pendinginan suatu sistem adalah dengan mencoba mengganti fluida kerjanya, yaitu dengan menggunakan nanofluida. Dalam penelitian ini digunakan nanofluida yang dibuat dari campuran air dengan partikel nano Al_2O_3 dengan konsentrasi sebesar 1%, 2%, 3% dan 4% dalam persen volume. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan suatu sistem dengan menggunakan software *Computational Fluids Dynamic* (CFD) yang terdiri dari pemanas berbentuk pipa C sebagai sumber panas di dalam tangki pendingin IRWST dengan nanofluida sebagai fluida pendingin yang dialirkan ke permukaan pemanas. Dari hasil perhitungan diperoleh distribusi temperatur untuk fluida pendingin nanofluida Al_2O_3 memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan tanpa nanofluida. Selain itu juga diperoleh, pada konsentrasi 4% nanofluida Al_2O_3 memiliki nilai koefisien perpindahan panas 1.12 kali dibandingkan dengan koefisien perpindahan panas menggunakan air, hal ini menunjukkan bahwa nanofluida lebih efektif dipergunakan sebagai fluida pendingin dibandingkan air.

Kata Kunci: Nanofluida, konveksi alamiah, koefisien perpindahan panas

Abstract: One effort to improve the effectiveness of cooling a system is to try to replace the working fluid, namely by using nanofluids. In this study nanofluids were made from a mixture of water with Al_2O_3 nanoparticles with concentrations of 1%, 2%, 3% and 4% in percent volume. This research began by modeling a system consisting of a C-shaped heater as a heat source in an IRWST cooling tank with nanofluids as cooling fluid flowed to the heating surface using *Computational Fluids Dynamic* (CFD). From the calculation results obtained by temperature distribution for cooling fluid Al_2O_3 nanofluids have lower temperatures than without nanofluids. It was also obtained, at a concentration of 4% Al_2O_3 nanofluid has a heat transfer coefficient of 1.12 times compared to the coefficient of heat transfer to water, this shows that nanofluids are more effectively used as a cooling fluid than water.

Keywords: Nanofluid, natural convection, convection heat transfer coefficient

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi dan terbatasnya sumber daya alam seperti minyak bumi, gas alam dan batubara akhir-akhir ini telah membawa Indonesia ke dalam suatu krisis energi yang nantinya berujung pada meningkatnya harga jual listrik. Kebutuhan akan energi listrik per kapita di Indonesia pada tahun 2050 diperkirakan berdasarkan BPPT *Outlook* Energi Indonesia tahun 2017 (Fitriana, 2017) mencapai sekitar 5.211 kWh per kapita untuk skenario dasar dan 7.129 kWh per kapita untuk skenario tertinggi. Salah satu alternatif pemenuhan energi yang perlu diperhitungkan adalah dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tidak lepas dari resiko kecelakaan karena banyaknya bahan radioaktif yang dimilikinya. Oleh karena itu, aspek keselamatan menjadi prioritas utama dalam pembangunan dan pengoperasian PLTN. Salah satu konsep sistem keselamatan yang terus dikembangkan saat ini adalah menggunakan sistem *Passive Residual Heat Removal* (PRHR) untuk situasi pendinginan darurat. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip sirkulasi alami. Sirkulasi alami pada siklus tertutup yang berisi fluida dicapai dengan menempatkan sebuah *heat sink* di dalam untai tersebut pada ketinggian yang lebih tinggi daripada sumber panas. Fluida yang menuju sumber panas akan menyerap panas sehingga kerapatan berkurang dan bergerak naik. Sementara fluida yang masuk ke *heat sink* akan membuang panas sehingga kerapatan bertambah dan bergerak turun. Dengan demikian terjadi perbedaan kerapatan fluida di dalam untai tersebut dan gravitasi akibat perbedaan ketinggian di antara sumber panas dan *heat sink*, akan menghasilkan gaya apung yang menggerakkan fluida di dalam siklus yang kemudian disebut fenomena sirkulasi alami.

Sistim PRHR terdiri dari: penukar panas pipa bentuk C yang terendam dalam *In-containment Refueling Water Storage Tank* (IRWST). PRHR menyediakan pembuangan panas pendingin primer melalui jalur sirkulasi alami, air yang bersuhu tinggi mengalir secara alami melalui jalur masukan PRHR yang terhubung ke salah satu kaki panas dan memasuki pipa bentuk C dari penukar panas PRHR. Sedangkan pembuangan panas terjadi pada permukaan luar *tubes*.

Secara umum pendinginan pada sistim *In-containment Refueling Water Storage Tank* (IRWST) masih menggunakan media air ringan atau H₂O. Dengan semakin berkembangnya teknologi nanofluida sebagai pilihan pendinginan, maka di dalam penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggantikan air ringan dengan campuran nanofluida Al₂O₃-air sebagai pendingin. Nanofluida adalah larutan yang mengandung partikel-partikel nano yang berukuran (1-100 nm) dalam fluida dasar. Partikel nano umumnya dibuat dari logam yang secara kimia adalah stabil. Karena ukurannya yang sangat kecil nanofluida memiliki kemampuan perpindahan panas yang tinggi dan tidak menimbulkan korosi sehingga dapat dipertimbangkan sebagai pilihan untuk media pendingin.

Salah satu topik penelitian yang masih terus dikembangkan saat ini adalah pemanfaatan sistem pasif dalam proses pemindahan panas peluruhan saat terjadi kecelakaan reaktor telah dipelajari.

Q. Men dkk, (2014) melakukan eksperimen untuk menghitung perpindahan panas untuk *Passive Residual Heat Removal-Heat Exchanger* (PRHR-HX) menggunakan pipa *C-tube* yang ditanamkan ke dalam tangki IRWST yang berisi air untuk memperoleh korelasi perpindahan panas konveksi alami.

BinJia dkk, (2013) melakukan simulasi untuk PRHR-HX menggunakan FLUENT dengan beberapa *C-tube* untuk mempelajari pengaruh suhu masukan terhadap kemampuan menghilangkan sisa panas dari PRHR-HX. Dari simulasi yang dikerjakan diperoleh aliran massa yang tetap ketika suhu masukan dari PRHR-HX bertambah, kecepatan aliran masukan bertambah dan suhu keluaran bertambah tinggi dengan kata lain laju pendinginan bertambah pada waktu yang bersamaan.

Demikian pula dengan eksperimen menggunakan nanofluida telah diteliti dan dipelajari, Buongiorno (2009) mempelajari dan menganalisa aliran pendidihan *critical heat flux* pada air bertekanan rendah dengan menggunakan nanofluida Al₂O₃-air dan memperoleh nilai *critical heat flux* lebih besar dibandingkan dengan fluida air.

C.J Ho dkk, (2010) melakukan eksperimen perpindahan panas secara konveksi alamiah dengan menggunakan nanofluida Al₂O₃-air pada kotak tiga dimensi yang diletakkan pada posisi vertikal dengan berbagai ukuran 25 mm x 25 mm x 60 mm, 40 mm x 40 mm x 90 mm, dan 80 mm x 80 mm x 80 mm dan konsentrasi nanofluida yang digunakan sebesar 0,1% sampai 4%. Diperoleh nilai Rayleigh bervariasi dari 6,21 x 10⁵ sampai dengan 2,56 x 10⁸. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi perpindahan panas konveksi alamiah menggunakan nanofluida mengalami peningkatan.

Babu & Rao (2018) mempelajari perpindahan panas konvektif alami yang diinduksi daya apung di sepanjang silinder vertikal yang direndam dalam nanofluida Al₂O₃ -air untuk berbagai konsentrasi (0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 vol %) di bawah kondisi fluks panas konstan. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa suhu silinder dan fluida meningkat sepanjang arah aksial dan suhu fluida menurun dalam arah radial. Eksperimen dilakukan untuk berbagai masukan panas (30 W, 40 W, 45 W, dan 50 W) dan konsentrasi volume dan mengamati bahwa penambahan nanopartikel alumina hingga 0,1 vol % meningkatkan kinerja termal dan penambahan lebih lanjut nanopartikel menyebabkan terjadinya penurunan.

Mohebbi dkk, (2019) melakukan simulasi untuk menyelidiki pengaruh nanofluida Al₂O₃-air terhadap pola aliran dan perpindahan panas konveksi alami rongga berbentuk bergelombang dengan menggunakan metode *Lattice Boltzmann* (LBM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perpindahan panas Al₂O₃- air nanofluida lebih tinggi daripada air.

Rao & Babu (2020) melakukan eksperimen nanopartikel dan natrium dodesil sulfat dicampur ke dalam cairan dasar (air) untuk fraksi volume yang berbeda (0,05%, 0,1%, 0,15%, dan 0,2%) dan memasok panas yang beragam masukan 30 W, 40 W, 50 W dan 60 W. Nanopartikel Al₂O₃ memiliki konduktivitas termal yang tinggi dibandingkan CuO. SDS (natrium dodesil sulfat) dicampur dengan Al₂O₃ nanopartikel lalu dimasukkan ke dalam motor yang berada bawah permukaan silinder kemudian lantainya digetarkan dan suhunya meningkat dan terjadi peningkatan koefisien perpindahan panas.

Bellahcene dkk, (2021) melakukan simulasi menggunakan COMSOL 5.4 CFD untuk

menyelidiki fenomena perpindahan panas konveksi paksa dan aliran fluida nanofluida Al_2O_3 berbasis air dalam *baffled shell and tube heat exchanger* (STHE). Air sebagai fluida panas mengalir di sisi tabung dan nanofluida Al_2O_3 sebagai fluida pendingin mengalir di sisi shell. Hasil yang diperoleh disajikan oleh rata-rata bilangan Nusselt, streamline, isotherm dan berbagai parameter fisika yang merupakan fraksi volumetrik nanopartikel ($1\% \leq C_v \leq 3\%$) menunjukkan peningkatan perpindahan panas dengan kenaikan kecepatan masuk dan fraksi volume, di mana bilangan Nusselt ditambah dengan 0,1%, 3,96% dan 7,62% untuk $C_v = 1\%$, 2% dan 3% dan gesekan faktor meningkat sebesar 22,41%, 24,14 % dan 26,72 % untuk $C_v = 1\%$, 2% dan 3% dibandingkan dengan fluida dasar.

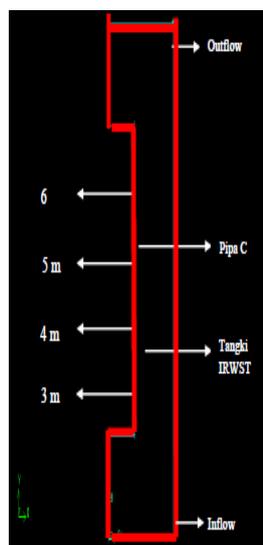
Karagoz dkk, (2022) melakukan penelitaian menggunakan nanopartikel Al_2O_3 pada radiator pendingin kendaraan yang pada umumnya air digunakan sebagai cairan pendingin. Partikel Al_2O_3 yang digunakan dengan konsentrasi yang berbeda sebagai 0,25; 0,50 dan 1,0 wt% dan nilai daya rem *engine*. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa penambahan nanopartikel ke air pendingin meningkatkan kinerja perpindahan panas.

Sistem *passive residual heat removal* (PRHR) bekerja memindahkan panas melalui pipa C yang selanjutnya mengalirkan masuk ke dalam tangki IRWST yang berisikan air sebagai pendingin telah banyak dipelajari dan diteliti. Untuk pemakaian nanofluida sebagai pendingin pada sistem PRHR sejauh ini belum ada peneliti yang mempelajari. Oleh karena itu merupakan tantangan dan peluang untuk mempelajari dan menganalisa perpindahan panas konveksi alamiah dengan menggunakan campuran nanofluida Al_2O_3 -air. Untuk mempelajari hal tersebut pada penelitian ini, menggunakan simulasi dengan menggunakan paket program CFD (*Computational of Fluid Dyanamic*)-FLUENT. Hasil yang diperoleh nantinya dapat digunakan sebagai data awal untuk pengembangan sistim keselamatan PRHR khususnya perpindahan panas antara C-tube dengan media pendingin yang terdapat pada IRWST dengan menggunakan nanofluida.

METODE

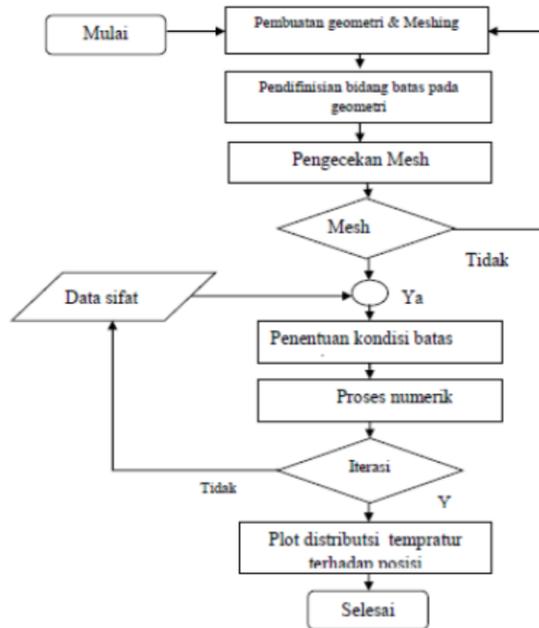
a) Sistematika Penelitian

Dalam penelitian perpindahan panas konveksi alamiah ini, pada pipa bentuk C, dibenamkan pada kolam *In-containment Refueling Water Storage Tank* (IRWST). Ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain fluks panas pada permukaan pipa bentuk C adalah tetap dan fluida pendingin dalam hal ini menggunakan campuran air dan nanofluida Al_2O_3 1% hingga 4% hal ini dikerenakan data fisis dari nanofluida Al_2O_3 sudah tersedia dan secara umum sering digunakan (Lee, 2017), sedangkan untuk campuran diatas 4% ini belum tersedia datanya dan juga dalam proses pembuatanya cukup mahal secara ekonomis. Ada beberapa tahap dalam perancangan model yang harus dilakukan antara lain perancangan pipa bentuk C dengan ukuran ketinggian 6 m dan tangki kolam IRWST berukuran 5 m x 10 m, dalam hal ini ukuran tangki kolam IRWST tidak berpengaruh dalam jalanya simulasi.



Gambar 1. Pipa C-tube dan Tangki kolam IRWST dengan menggunakan GAMBIT

Perancangan pipa bentuk C ini bertujuan sebagai sumber panas, sedangkan perancangan kolam IRWST bertujuan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas konveksi alamiah yang diambil pada posisi ketinggian 3 m hingga 6 m, hal ini disebabkan temperatur pada ketinggian tersebut sudah stabil. Skema pipa bentuk C dan kolam IRWST terdapat pada Gambar 1 dan langkah-langkah pembuatan model dan simulasi untuk penelitian ini, dilakukan melalui langkah-langkah pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pemodelan dan simulasi perpindahan panas konveksi alamiah pada pipa C

b) Rangkaian Kegiatan Penelitian

Adapun input CFD (*Computational Fluid Dynamic*) yang diberikan untuk parameter termodinamika nanofluida Al_2O_3 -air seperti kerapatan, kalor jenis, konduktivitas panas, viskositas pada konsentrasi 1%, 2%, 3% dan 4%. Untuk kondisi batas termal yang digunakan dalam hal ini adalah memberikan nilai fluks panas yang sama pada permukaan pipa bentuk C.

Data yang diperoleh dari simulasi numerik tersebut yaitu: temperatur dipermukaan pipa bentuk C. Kemudian dengan menggunakan data tersebut dilakukan analisa perpindahan panas dengan fluida air dan juga campuran nanofluida Al_2O_3 -air.

c) Pemodelan Numerik Dengan FLUENT

FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis mesh yang didukung FLUENT adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahefral-hexahedralpyramid-wedge* dan mesh campuran (*hybrid*).

d) Input Nilai Parameter-Parameter Pada FLUENT

Pemodelan numerik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat FLUENT versi 6.3.26. Simulasi numerik terhadap volume air yang telah dibuat dengan program GAMBIT dilakukan pada kondisi *steady*. Dalam pemodelan numerik tersebut, diperlukan beberapa asumsi, antara lain perpindahan panas secara konduksi pada dinding pipa C dan IRWST model ini diabaikan serta perpindahan panas radiasi dari dinding pipa C dan IRWST dalam maupun luar pada model ini juga diabaikan.

e) Variabel-Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Variabel terikat adalah faktor dari tipe partikel nano Al_2O_3 dengan komposisi (1%, 2%, 3% dan

4%) terhadap air di dalam nanofluida sebagai fluida pendingin.

- 2) Variabel bebas adalah fluks konstan sebesar 50 W/m^2 dan laju penggerak konveksi alamiah di dalam tangki IRWST adalah $0,001 \text{ m/s}$.

f) Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dan pengujian perpindahan panas konveksi alamiah pada pipa bentuk C dilakukan dengan menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Data yang diperoleh sebagai temperatur di permukaan pipa bentuk C dan fluida pendingin.

g) Pengolahan Data

Data kuantitatif yang diperoleh dari hasil simulasi dengan CFD (*Computational Fluid Dynamic*) Code diolah dengan menggunakan formulasi dan simulasi numerik yang selanjutnya digunakan untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi alamiah air dan nanofluida Al_2O_3 sebagai fluida pendingin.

h) Persamaan-Persamaan Dasar FLUENT

Untuk membuat model fisis dan matematis dari perpindahan panas konveksi alamiah yang terjadi pada permukaan pipa C ke fluida pendingin di dalam tangki IRWST digunakan beberapa pendekatan atau asumsi di dalam penyelesaian, yaitu:

- 1) Kondisi *steady state*
- 2) Aliran satu fase dengan fluida kerja adalah air dan nanofluida Al_2O_3
- 3) Kondisi tekanan 1.01325×10^5 Pascal dan temperatur 288 K
- 4) Fluks panas pada permukaan pipa bentuk C adalah seragam

Sedangkan untuk menyelesaikan persamaan matematis aliran konveksi alamiah dari permukaan pipa bentuk C ke fluida pendingin di dalam FLUENT menggunakan persamaan-persamaan dibawah ini:

- 1) Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial x_i} = 0$$

Dengan: ρ = massa jenis fluida
 v_i = komponen kecepatan arah i
 x_i = jarak dalam arah i

- 2) Persamaan momentum

$$\frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial x_i} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_i} + \frac{\partial v_j}{\partial x_j} \right) \right] - \frac{\partial(\rho \overline{v'_i v'_j})}{\partial x_i} + \rho g_i$$

Dengan: P = tekanan statik
 v' = kecepatan rata-rata
 μ = viskositas dinamika fluida

- 3) Persamaan energi

$$\frac{\partial(\rho v_i h)}{\partial x_i} = -\frac{\partial(k + k_t)}{\partial x_i} \frac{\partial T}{\partial x_i} + \left[\mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_i} + \frac{\partial v_j}{\partial x_j} \right) \right] \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_i}$$

Dengan: k = konduktivitas termal
T = temperature

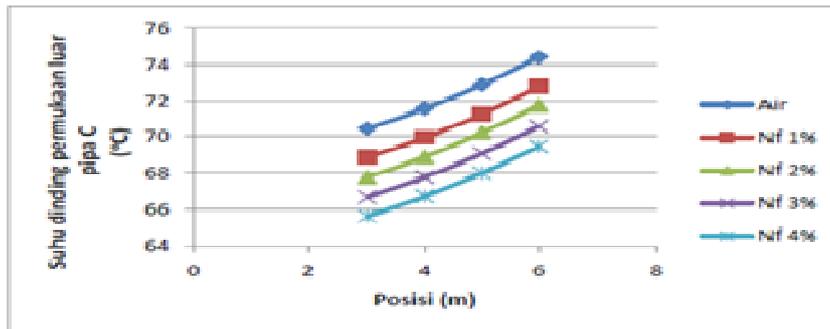
HASIL DAN DISKUSI

a) Distribusi Temperatur Pada Permukaan Pipa C

Dari hasil simulasi fluent diperoleh temperatur pada permukaan pipa bentuk C di dalam fluida pendingin di tangki IRWST yang disajikan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Distribusi Temperatur Pada Permukaan Pipa C Dalam Tangki IRWST

Fluida Pendingin	Temperatur (°C)			
	Posisi (m)			
	3	4	5	6
Air	70.46	71.56	72.87	74.41
nf Al ₂ O ₃ -Air 1%	68.87	69.95	71.24	72.76
nf Al ₂ O ₃ -Air 2%	67.77	68.89	70.22	71.74
nf Al ₂ O ₃ -Air 3%	66.66	67.78	69.08	70.57
nf Al ₂ O ₃ -Air 4%	65.62	66.71	67.99	69.46



Gambar 1. Grafik Distribusi Temperatur Pada Permukaan Pipa C Dalam Tangki IRWST

Ketika permukaan pipa bentuk C diberikan fluks panas kemudian dialirkan fluida pendingin yang berbeda terlihat adanya pengaruh dari fluida pendingin yang digunakan dengan adanya kenaikan temperatur pada permukaan luar pipa bentuk C. Jika menggunakan fluida pendingin air kenaikan suhu dimulai dari 70°C hingga 74°C. Sedangkan dengan menggunakan nanofluida Al₂O₃ 1% kenaikan suhu 68°C hingga 72°C kemudian diikuti dengan nanofluida Al₂O₃ 2% kenaikan suhu dari 67°C hingga 71°C, selanjutnya nanofluida Al₂O₃ 3% kenaikan suhu dari 66°C hingga 70°C, nanofluida Al₂O₃ 4% 65°C sampai 70°C. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa dengan menggunakan fluida pendingin air kenaikan temperatur lebih tinggi dari pada nanofluida Al₂O₃ 1% hingga 4%.

b) Distribusi Temperatur Pada Jarak 0.1 m Dari Permukaan Pipa C

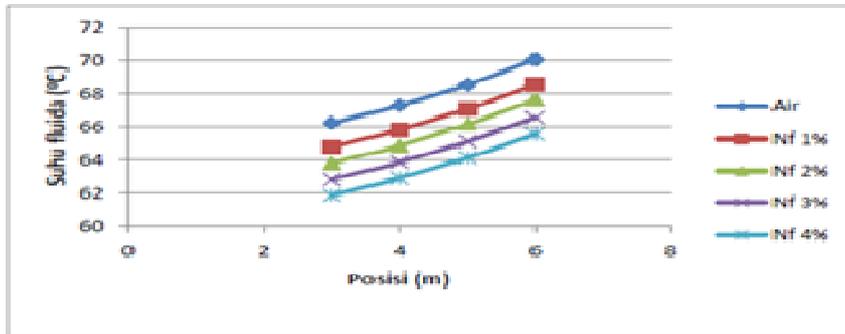
Dari hasil simulasi fluent diperoleh temperatur pada jarak 0.1 m dari permukaan pipa bentuk C di dalam fluida pendingin di tangki IRWST yang disajikan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Distribusi Temperatur Pada Jarak 0.1 m Dari Permukaan Pipa C Dalam Tangki IRWST

Fluida Pendingin	Temperatur (°C)			
	Posisi (m)			
	3	4	5	6
Air	66.21	67.27	68.53	70.02
nf Al ₂ O ₃ -Air 1%	64.77	65.82	67.06	68.52
nf Al ₂ O ₃ -Air 2%	63.78	64.86	66.14	67.59
nf Al ₂ O ₃ -Air 3%	62.79	63.85	65.11	66.53
nf Al ₂ O ₃ -Air 4%	61.84	62.89	64.12	65.53

Terjadi aliran perindahan panas dari permukaan pipa C yang berjarak 0,1 m dari tepi permukaan pipa c ke fluida pendingin yang berada di dalam tangki IRWST yang mengakibatkan fluida pendingin air menyerap panas sehingga temperatur air berubah semakin naik dengan bertambah jarak ke arah aksial dengan perubahan temperatur dari 66°C hingga 70°C. Jika fluida pendingin diganti dengan menggunakan nanofluida Al₂O₃ 1% dengan posisi yang sama, temperatur mengalami kenaikan dari 64°C hingga 68°C, kemudian nanofluida Al₂O₃ 2%, kenaikan temperatur 63°C hingga 67°C dan nanofluida Al₂O₃ 3% kenaikan temperatur 62°C hingga 66°C, serta nanofluida Al₂O₃ 4% mengalami kenaikan temperatur 61°C hingga 65°C. Jika dilihat dari fluida pendingin menggunakan air diperoleh temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan fluida pendingin

nanofluida Al_2O_3 dengan kosentarasasi 1% hingga 4%. Tetapi antar nanofluida 1% dibandingkan dengan nanofluida 2% diperoleh nilai temperatur yang semakin berkurang begitu juga dengan semakin besar kosentrasinya semakin berkurang temperaturnya. Hal ini dikarenakan nilai konduktivitas nanofluida Al_2O_3 juga semakin meningkat mengikuti kenaikan temperatur.



Gambar 2. Grafik Distribusi Temperatur Pada Jarak 0.1 m Dari Permukaan Pipa C Dalam Tangki IRWST

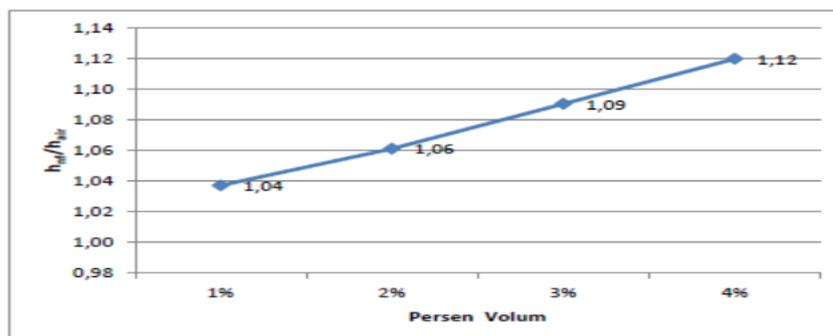
c) Koefisien Perpindahan Panas Konveksi

Untuk memperoleh nilai koefisien perpindahan panas konveksi alamiah antara permukaan pipa C di dalam tangki IRWST dengan fluida pendingin adalah menggunakan data temperatur yang terdapat pada tabel 1 dan tabel 2. Hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan panas konveksi alami disajikan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Alami

Fluida Pendingin	h (W/m ² C)			
	Posisi (m)			
	3	4	5	6
Air	11.75	11.64	11.51	11.37
nf Al ₂ O ₃ -Air 1%	12.21	12.08	11.95	11.79
nf Al ₂ O ₃ -Air 2%	12.55	12.40	12.24	12.06
nf Al ₂ O ₃ -Air 3%	12.90	12.76	12.58	12.40
nf Al ₂ O ₃ -Air 4%	13.25	13.10	12.92	12.73

Dari Tabel 3 dapat di lihat untuk posisi 6 m, koefisien perpindahan panas untuk fluida pendingin air adalah 11,37 W/m²C jika fluida pendingin tersebut digantikan dengan nanofluida Al₂O₃ 1% maka diperoleh nilai koefisien perpindahan panas menjadi 11,79 W/m²C kemudian nanofluida Al₂O₃ 2% adalah 12,06 W/m²C serta nanofluida Al₂O₃ 3% adalah 12,40 W/m²C dan nanofluida Al₂O₃ 4% adalah 12,73W/m²C.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Alami

Dari hasil yang diperoleh untuk koefisien perpindahan panas menggunakan nanofluida Al₂O₃ menjadi naik bila dibandingkan dengan menggunakan fluida pendingin air. Selain itu dengan

bertambah besarnya konsentrasi volumenya nanofluida Al_2O_3 nilai koefisien perpindahan panas konveksi alamiah juga bertambah besar. Dan dapat dilihat bahwa semakin tinggi posisi maka koefisien perpindahan panas konveksi alamiah semakin berkurang. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan temperatur antara permukaan pipa bentuk C dan fluida pendingin dalam hal ini memakai air dan nanofluida Al_2O_3 semakin besar nilai perubahan temperatur.

Untuk menentukan perbandingan koefisien perpindahan panas antara nanofluida Al_2O_3 terhadap air adalah menggunakan tabel 3, dari hasil perbandingan diperoleh gambar 3. Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat, jika persen volum nanofluida Al_2O_3 bertambah akan menyebabkan koefisien perpindahan panas konveksi alamiah dari nanofluida Al_2O_3 terhadap air semakin bertambah. Hal ini dikarenakan konduktivitas dari nanofluida Al_2O_3 terhadap persen volum juga semakin besar. Dari gambar 3 diperoleh perbandingan koefisien perpindahan panas nanofluida Al_2O_3 terhadap air adalah untuk komposisi 1% hingga 4% diperoleh 1.04; 1.06; 1.09 dan 1.12. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut diperoleh, untuk nanofluida Al_2O_3 4% memiliki nilai perbandingan koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi sebesar 1.12 terhadap air. Oleh kerennannya penggunaan nanofluida dapat menjadi salah satu pilihan untuk dapat digunakan sebagai fluida pendingin.

SIMPULAN

Dari simulasi terhadap model perhitungan telah diperoleh nilai koefisien perpindahan panas dengan menggunakan fluida air ringan (H_2O) dan nanofluida Al_2O_3 (Alumina) dengan komposisi 1%; 2%; 3% dan 4% terhadap arah vertikal. Untuk koefisien perpindahan panas pada posisi tertinggi diperoleh untuk fluida pendingin air adalah $15,91 \text{ W/m}^2\text{C}$ dan fluida pendingin nanofluida Al_2O_3 1% $16,51 \text{ W/m}^2\text{C}$, nanofluida 2% $16,89 \text{ W/m}^2\text{C}$ kemudian nanofluida 3% $17,35 \text{ W/m}^2\text{C}$ dan nanofluida 4%; $17,82 \text{ W/m}^2\text{C}$ dari hasil yang diperoleh dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk nanofluida alumunia sebagai fluida pendingin memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan air terutama untuk nanofluida 4% yang memiliki nilai koefisien perpindahan panas yang lebih besar dibandingkan dengan nanofluida 1% hingga 3%.

DAFTAR RUJUKAN

- Bin Jia Jianping Jing, Xuendong Qiao. and Chuming Zhang. (2013). Numerical Simulation Of PRHR System Based on CFD. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, pp. 74-81.
- C.J. Ho, W.K. Liu Y.S. Chang and C. Lin. (2010). Natural Convection Heat Transfer of Alumina-Water Nanofluid In Vertical Square Enclures. *International Journal of Thermal Sciences*, pp. 1345-1353.
- Dani Gustaman Syarif. (2016). *Nanopartikel Dan Nanofluida Perpindahan Panas*. Bandung: Batan Press.
- Diah Hidayanti Sukarno. (2017). Challenges For Nanofluid Application In Heat Transfer Technology. *IOP Conf.Series*, pp. 1-6.
- Efrison Umar, Ketut Kamajaya. (2017). Studi Eksperimental Perpindahan Kalor Konveksi Paksa Pada Nanofluida ZrO_2 -air Didalam Sub Buluh Vertikal Segiempat. *Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, pp. 49-59.
- Firman Tuaka. (2008). *Dasar-dasar CFD menggunakan Fluent*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Frank Incopetra. (2013). *Principles of Heat and Transfer*. Singapore: Jhon Wily & Sons.
- Indriati Sri Wardhani (2014). Fluida Nano ZrO_2 Sebagai Fluida Pendingin Pada Permukaan Pemanas Pelat Vertikal. *Teknologi Reaktor Nuklir*, pp. 169-177.
- Jan Setiawan, Djoko Hadi Prajitno. (2019). Prilaku Elektrokimia Baja Tahan Karat SS 316 Dalam Media NanoFluida. *Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, pp. 1-70.
- J. Buongiorno. (2009). Nanofluid Heat Transfer Enhancement for Nuclear Reaktor Applications. *in Proceedings of the ASME Micro/Nanoscale Heat and Mass Transfer*.
- Khalil Khafner and Kambiz Vafai. (2010). Critical Synthesis of Thermophysical Charateristics of Nanofluid. *Internasional Journal of Thermal Sciences*, pp. 1345-1353.
- Kyo Sik, Seok Pil Jang and Stephen Choi. (2009). Flow and Convective Heat Transfer Of Water Based Al_2O_3 Nanofluids In Fully Developed Laminar Flow Regime. *Internasional Journal of Thermal Sciences*, pp. 193-198.

- Misale, F.Devia and P.Garibaldi. (2012). Experiment with Al_2O_3 In Single Phase Natural Circulation Mini Loop. *Applied Thermal Engineering*, pp. 64-70.
- Mudawar, Lee. (2017). Assesment of the Effectiveness of Nanofluids for Single-Phase and Two-Phase Heat Transfer in micro-channels. *Heat and Mass Transfer*, pp. 452-463.
- Q. Men, Xuesheng Wang, Xiangyu Zhou, and Xiangyu Meng. (2014). Heat Transfer Analysis of Passive Residual Heat Removal Heat Exchanger Under Natural Convection In Tank. *Journal Science and Technology of Nuclear Installations*, pp. 1-8.
- Reinaldy Nasar (2016). Karakteristik Perpindahan Panas Konveksi Aliriah Nanofluida Al_2O_3 -air Di dalam Pipa Anulus Vertikal. *Teknologi Reaktor*, pp. 21-28.
- Surip Widodo, Andi Sofrany. (2011). Pemodelan Sistim Pembuangan Panas Pasif dengan Menggunakan Relap 5. in *Pertemuan dan Penelitian Ilmiah Pengetahuan dan Teknologi Reaktor*.