

ANALISA PERPINDAHAN PANAS DAN *PRESSURE DROP* FLUIDA NANO Al_2O_3 -AIR PROSES PENDINGINAN DENGAN METODE SIMULASI

Aryati Muhaymin Marali, Slamet Wahyudi, Nurkholis Hamidi
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT Haryono No.167, Malang (65145) – Indonesia
Telp./Fax: (0341) 554291
E-mail: ariemarali@gmail.com

Abstract

Conventional heat transfer system is unable to absorb heat well. Various methods have been done to enhance heat transfer. One of them is the method using nanofluid which has been done by many researchers; due to the better thermal performances compared to base fluid. The research aims to observe the enhancement of convective heat transfer and pressure drop in the cooling process by using Al_2O_3 – Water nanofluid. The volume concentration of the Al_2O_3 varied from 0.2% and 0.3% with 30 nm diameter nanoparticles flowing in a double pipe with the opposite direction. The result showed that the increase of the particle volume concentration leads to enhance convective heat transfer coefficient and pressure drop. The two variables of measurement showed the average heat transfer coefficient increased about 21% with 0.2% and 0.3% volume concentration compared to base fluid. Pressure drop increased about 22.86% with 0.2% and 0.3% volume concentration. In conclusion, the performance of nanofluid slightly increased together with the increase of volume nanofluid concentration.

Keywords: Heat transfer, pressure drop, nanofluid Al_2O_3 -air, laminar flow.

PENDAHULUAN

Alat penukar kalor banyak diaplikasikan di dunia industri. Alat penukar kalor berfungsi sebagai salah satu media suatu fluida. Sistem pendingin yang tidak bekerja dengan baik akan mengakibatkan *over cooling* yang akan berdampak pada tegangan thermal yang tinggi sehingga menyebabkan kerusakan pada sistem pendingin tersebut [1].

Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian membahas peningkatan laju perpindahan panas sistem pendingin. Berbagai macam metode yang dapat digunakan dalam meningkatkan laju perpindahan panas pada sistem pendingin, salah satu metode yang digunakan yaitu dengan memperbaharui sifat-sifat dari fluida kerja pada proses perpindahan panas. Memperbaharui sifat-sifat dari fluida kerja dilakukan dengan cara memodifikasi fluida kerjanya. Fluida nano merupakan salah satu fluida yang telah dimodifikasi, fluida nano adalah pencampuran antara fluida dasar dengan partikel nano yang memiliki ukuran nano > 100 nm.

Penelitian perpindahan panas fluida nano TiO_2 -air variasi volume partikel 0.2% - 2% dengan metode eksperimen. Didapatkan hasil terjadi peningkatan konduktivitas panas fluida

nano setara dengan peningkatan variasi konsentrasi volume partikel nano [2]. Jika diamati peningkatan variasi fluida nano berperan meningkatkan konduktivitas panas. Konduktivitas panas berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas, sehingga peningkatan volume partikel fluida nano maka akan membuat meningkatnya koefisien perpindahan panas sesuai dengan peningkatan konduktivitas panas fluida nano.

Penelitian perpindahan panas fluida nano Al_2O_3 -air variasi volume partikel 0.15%, 0.25%, dan 0.5% dengan metode eksperimen. Didapatkan hasil terjadi peningkatan bilangan nusselt tertinggi sebesar 40.5% pada variasi volume partikel 0.5% pada fluida nano Al_2O_3 -air. Terjadi peningkatan *pressure drop* setara dengan peningkatan variasi volume partikel fluida nano [3]. Penelitian perpindahan panas fluida nano Ag/HEG-air variasi volume partikel 0.1% - 0.9% dengan metode simulasi. Pada penelitian ini Zainal.s et al, melakukan komparasi metode simulasi dengan menggunakan teori dari Dittus-Boelter Equation, hasil yang didapatkan tidak terjadi perbandingan yang signifikan antara hasil simulasi yang dilakukan dengan teori dari Dittus-Boelter Equation [4].

Laju aliran fluida berpengaruh terhadap laju perpindahan panas secara konveksi. Semakin besar nilai laju aliran fluida, maka akan meningkatkan bilangan Reynold dan bilangan Nusselt [5]. Sesuai dengan paparan penelitian diatas menjadi acuan peneliti untuk melakukan penelitian terhadap perpindahan panas menggunakan fluida nano. Fluida nano yang digunakan adalah Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.2% dan 0.3% dengan menggunakan metode simulasi. Secara umum penambahan partikel nano Al_2O_3 kedalam fluida dasar akan memperbaharui sifat fisik dari fluida tersebut sehingga membuat sifat fluida baru. Sifat fluida baru tersebut diharapkan dapat mempercepat koefisien perpindahan panas.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan partikel padat Al_2O_3 kedalam fluida dasar berupa air pada proses perpindahan panas dengan menggunakan aliran fluida laminar dalam pipa. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu laju aliran fluida nano Al_2O_3 -air sebesar $(1,66 - 8,33)10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan variasi volume partikel padat yang digunakan sebesar 0.2% dan 0.3%. Variasi terkontrol kondisi temperatur 40°C pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan temperatur sebesar 23°C pada fluida dasar. Variasi terikat yang digunakan berupa fluida panas keluar pipa (Tout.nf dan Tout.cold), temperature dinding pipa (Twall), dan rugi tekan (ΔP).

Karakteristik sifat-sifat termofisik fluida nano Al_2O_3 -Air

a. Densitas

Densitas merupakan kerapatan massa suatu fluida, semakin tinggi nilai densitas maka kerapatan suatu partikel nano pada fluida dasar semakin besar. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan konduktivitas panas suatu fluida. Densitas fluida nano menggunakan persamaan dari Pak dan Cho [6], yaitu;

$$\rho_{nf} = \varphi \rho_p + (1 - \varphi) \rho_b \quad (1)$$

Dimana:

ρ_{nf} = Densitas fluida nano $[\text{kg}/\text{m}^3]$

ρ_p = Densitas partikel nano $[\text{kg}/\text{m}^3]$

ρ_b = Densitas fluida dasar $[\text{kg}/\text{m}^3]$

φ = Variasi volume partikel

b. Viskositas

Viskositas merupakan nilai kekentalan suatu fluida, semakin besar nilai viskositas maka semakin besar nilai tahanan perpindahan panas suatu fluida. Viskositas fluida nano menggunakan persamaan Wang, X. [7], yaitu;

$$\mu_{nf} = \mu_b (1 + 7.3 \varphi + 123 \varphi^2) \quad (2)$$

Dimana :

μ_{nf} = Viskositas fluida nano $[\text{kg}/\text{m.s}]$

μ_b = Viskositas fluida dasar $[\text{kg}/\text{m.s}]$

c. Panas Jenis

Panas jenis dapat dicari dengan persamaan berikut [8];

$$Cp_{nf} = \frac{(1 - \varphi) Cp_b \rho_b + \varphi (\rho_p Cp_p)}{\rho_{nf}} \quad (3)$$

Dimana:

Cp_{nf} = Panas jenis fluida nano $[\text{kg}/\text{m}^3]$

Cp_b = Panas jenis fluida dasar $[\text{kg}/\text{m}^3]$

Cp_p = Panas Jenis partikel nano $[\text{kg}/\text{m}^3]$

d. Konduktivitas panas

Konduktivitas panas memiliki kemampuan untuk menghantarkan energi panas suatu fluida yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Konduktivitas panas dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan berikut;

$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_b - 2\varphi(k_p - k_b)}{k_p + 2k_b + \varphi(k_p - k_b) + \frac{\rho_p \varphi C_p}{2} \sqrt{\frac{k_B T}{3\pi r_c \mu}}} k_b \quad (4)$$

Dimana:

k_{nf} = Konduktivitas panas fluida nano $[\text{W}/\text{m.K}]$

k_p = Konduktivitas panas partikel nano $[\text{W}/\text{m.K}]$

k_b = Konduktivitas panas fluida dasar $[\text{W}/\text{m.K}]$

k_B = Konstanta boltzman, $1.381 \times 10^{-23} [\text{J}/\text{K}]$

r_c = Radius cluster (10^{-8})

Berikut tabel sifat-sifat termofisik fluida nano.

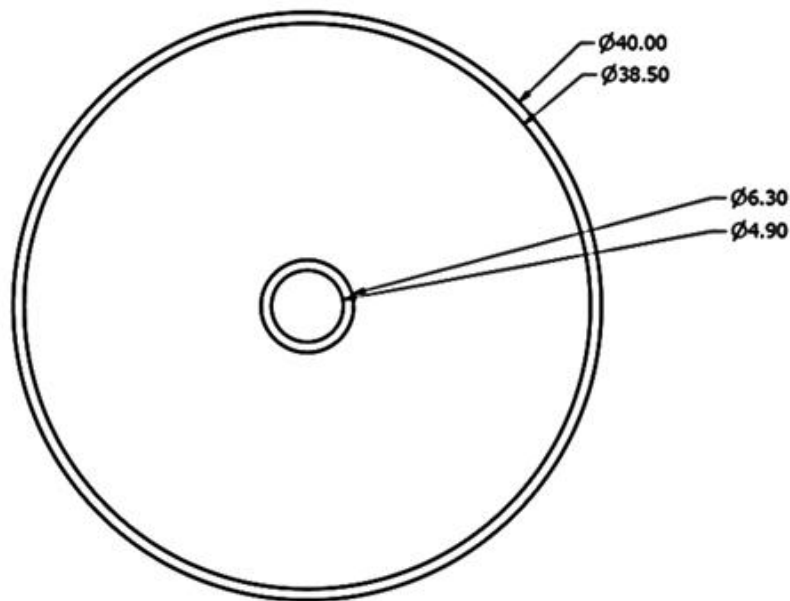
Tabel 1. Nilai sifat-sifat termofisik fluida nano Al_2O_3 -air

T °C	ϕ %	Thermo-physical properties				
		ρ_{nf} kg/m ³	μ_{nf} kg/m.s	k_{nf} W/m°C	Cp_{nf} J/kg°C	Pr_{nf}
40	0.2	996.95	0,000812	0,646	4151	5,2
	0.3	998.93	0,000863	0.66	4137	5,2

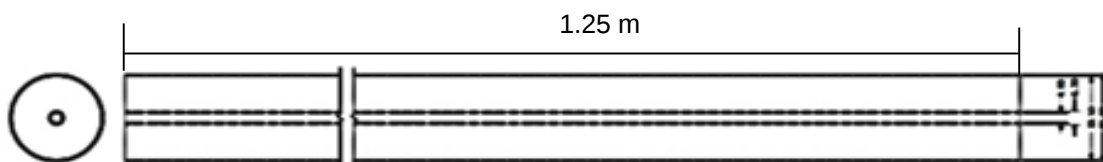
Penelitian ini menggunakan simulasi finite volume method dengan bantuan Ansys Fluent 14.5, metode simulasi dilakukan dengan tiga langkah, yaitu; pre-processing, processing, post-processing. Langkah pertama pre-processing yaitu membuat geometri penelitian yang akan digunakan. Desain geometri

ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Pada penelitian ini menggunakan alat penukar kalor pipa ganda dengan arah berlawanan. Diameter pipa dalam sebesar 4.9 mm dan diameter pipa annulus sebesar 38.5 mm. panjang pipa sebesar 1.25 m.

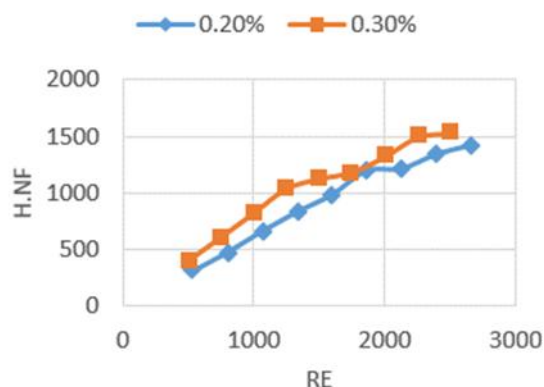
Proses kedua dalam pre-processing metode simulasi yaitu meshing, proses meshing penelitian ini menggunakan meshing quadrilateral. Langkah kedua pada metode simulasi yaitu processing, pada tahap ini lapis batas ditentukan. Langkah ketiga yaitu post-processing, pada langkah ini dilakukan pembacaan hasil penelitian. Pengambilan data dilakukan dengan membaca temperatur keluar fluida nano dan temperature keluar fluida dingin. Data tersebut diolah pada analisa data.



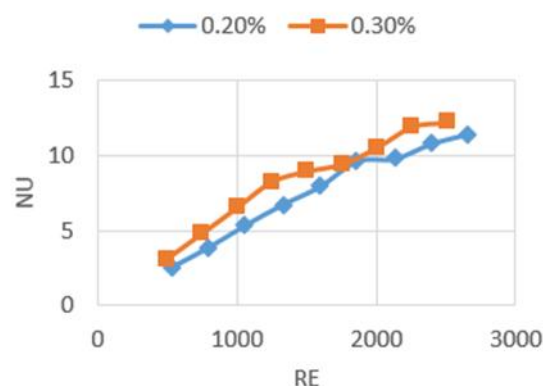
Gambar 1 Rancang permodelan diameter alat penukar kalor dengan satuan mm



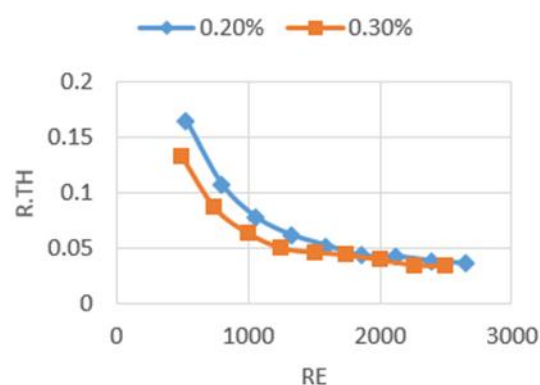
Gambar 2 Rancang permodelan panjang alat penukar kalor

HASIL DAN PEMBAHASAN**Hubungan koefisien perpindahan panas fluida nano Al_2O_3 -air dengan bilangan Reynold****Gambar 3.** Hubungan koefisien perpindahan panas terhadap bilangan Reynold

Laju perpindahan panas fluida nano Al_2O_3 -air ditunjukkan pada Gambar 3. Pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.2% didapatkan peningkatan tertinggi terjadi pada aliran fluida 0.15 LPM yaitu sebesar 52% dari laju aliran fluida 0.1 LPM. Peningkatan koefisien perpindahan panas fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.2% tertinggi pada aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 1428 $W/(m^2 K)$. Sedangkan pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.3% didapatkan hasil peningkatan tertinggi pada aliran fluida 0.15 LPM peningkatan terjadi sebesar 53% dari aliran fluida 0.1 LPM. Peningkatan koefisien perpindahan panas fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.3% tertinggi pada aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 1530 W/m^2K . Rata-rata peningkatan koefisien perpindahan panas yaitu sebesar 20%. Dari keseluruhan data yang diperoleh, pengaruh penambahan variasi volume partikel mengakibatkan terjadinya peningkatan koefisien perpindahan panas meningkat sesuai dengan peningkatan bilangan Reynold.

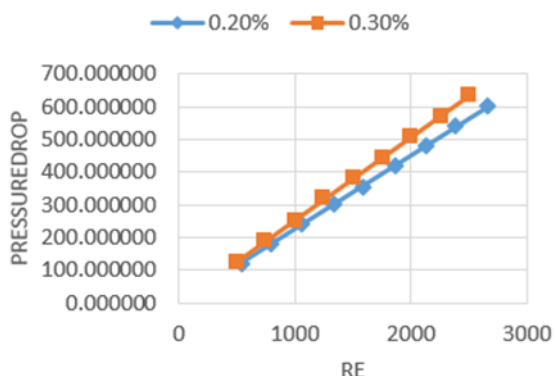
Hubungan bilangan nusselt dengan bilangan Reynold**Gambar 4.** Hubungan bilangan Nusselt terhadap bilangan Reynold

Bilangan Nusselt fluida nano Al_2O_3 -air terhadap bilangan Reynold ditunjukkan pada Gambar 4. Pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.2% didapatkan peningkatan tertinggi pada aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 11.42. Sedangkan pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.3% didapatkan hasil peningkatan tertinggi aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 12.23. Rata-rata peningkatan koefisien perpindahan panas yaitu sebesar 20%. Dari keseluruhan data yang diperoleh, pengaruh penambahan variasi volume partikel mengakibatkan terjadinya peningkatan bilangan nusselt meningkat sesuai dengan peningkatan bilangan Reynold.

Hubungan tahanan termal dengan bilangan Reynold**Gambar 5.** Hubungan tahanan termal terhadap bilangan Reynold

Tahanan termal fluida nano Al_2O_3 -air terhadap bilangan Reynold ditunjukkan pada Gambar 5. Pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.2% didapatkan hasil terendah tahanan termal pada aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 0.036. Sedangkan pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.3% didapatkan hasil terendah tahanan termal aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 0.034. Rata-rata nilai tahanan termal menurun sebesar 15%. Dari keseluruhan data yang diperoleh, pengaruh penambahan variasi volume partikel mengakibatkan terjadinya penurunan tahanan termal sesuai dengan peningkatan bilangan Reynold.

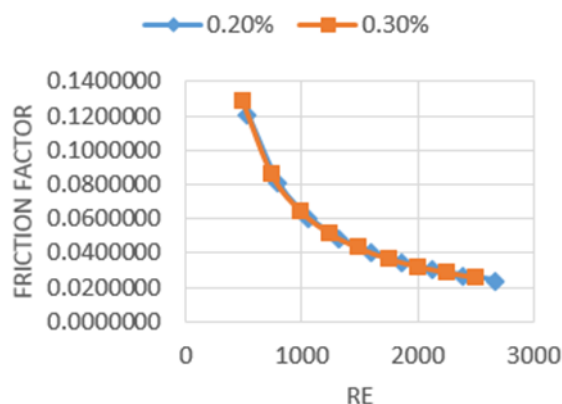
Hubungan pressure drop dengan bilangan Reynold



Gambar 6. Hubungan pressure drop dengan bilangan Reynold

Pressure drop fluida nano Al_2O_3 -air terhadap bilangan Reynold ditunjukkan pada Gambar 6. Pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.2% didapatkan hasil tertinggi pressure drop pada aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 598.32 Pa pada bilangan Reynold sebesar 2658. Sedangkan pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.3% didapatkan hasil tertinggi pressure drop aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 635.33 Pa pada bilangan Reynold 2509. Rata-rata nilai pressure drop menurun sebesar 22%. Dari keseluruhan data yang diperoleh, pengaruh penambahan variasi volume partikel mengakibatkan terjadinya peningkatan pressure drop sesuai dengan peningkatan bilangan Reynold.

Hubungan friction factor dengan bilangan Reynold



Gambar 7. Hubungan friction factor terhadap bilangan Reynold

Friction factor fluida nano Al_2O_3 -air ditunjukkan pada gambar 7. Pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.2% didapatkan hasil terendah friction factor pada aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 0.024 pada bilangan Reynold sebesar 2658. Sedangkan pada fluida nano Al_2O_3 -air dengan variasi volume partikel 0.3% didapatkan hasil tertinggi friction factor aliran fluida 0.5 LPM yaitu sebesar 0.025 pada bilangan Reynold 2509. Rata-rata nilai friction factor menurun sebesar 17%. Dari keseluruhan data yang diperoleh, pengaruh penambahan variasi volume partikel mengakibatkan terjadinya penurunan friction factor sesuai dengan peningkatan bilangan Reynold.

KESIMPULAN

Bedasarkan analisa data penelitian mengenai perpindahan panas fluida nano Al_2O_3 -air dengan metode simulasi, diperoleh kesimpulan, yaitu;

1. Peningkatan variasi volume partikel nano pada fluida dasar mempengaruhi peningkatan laju aliran fluida nano (h_{nf}), nilai laju perpindahan panas fluida nano Al_2O_3 -air tertinggi pada variasi volume partikel 0.3% sebesar 1530 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Peningkatan ini terjadi karena adanya peningkatan konduktivitas panas pada fluida nano setara dengan peningkatan variasi volume partikel yang didispersikan kedalam fluida dasar.

2. Peningkatan variasi volume partikel nano pada fluida dasar memppengaruhi peningkatan pressure drop (ΔP), nilai pressure drop fluida nano Al_2O_3 -air tetrtinggi pada variasi volume partikel 0.3% sebesar 635.33 Pa. Peningkatan pressure drop disebabkan karena penambahan variasi volume partikel mengakibatkan viskositas dari fluida tersebut semakin tinggi. Pressure drop berhubungan dengan viskositas, maka semakin tinggi nilai viskositas fluida nano maka semakin tinggi nilai pressure drop fluida nano.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurniawan A, et al. 2010. *Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Berliku Berpenampang Segi Empat Dengan Variasi Clearance Belokan*. Jurnal Reky
- [2] Duangthosuk, W. and Wongwises. S. 2009. Heat Transfer Enhancement and Pressure Drop Characteristics of TiO_2 -water nanofluids in double-tube counter flow heat exchanger. International Journal of Heat and Mass Transfer
- [3] Sudarmadji, et al. 2014. Effects of Cooling Process of Al_2O_3 -water Nanofluid on Convective Heat Transfer. FME Transactions. 42: 155-161
- [4] Zainal, S., C. Tan, C. J. Sian, and T. J. Siang. 2016. ANSYS simulation for Ag/HEG Hybrid Nanofluid in Turbulent Circular Pipe. Journal of Advanced Research in Applied Mechanics. 23: 20-35.
- [5] Usman I, et al. 2010. Pengaruh Ketebalan Inner-Helical Fin Terhadap Characteristic Of Performance Pada Heat Exchanger. Jurnal Rekayasa Mesin. 1: 208-114.
- [6] Daungthongsuk, W. & Wongwises, S., 2010, An Experimental Study on The Heat Transfer Performance and Pressure Drop of TiO_2 Water Nanofluids Flowing Under a Turbulent Flow Regime, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53, pp. 334–344.
- [7] Wang, X., Mujumdar, A. S., 2008. A Review on Nanofluids - Part I: Theoretical and Numerical Investigations, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 25, No. 04, pp. 613 – 630.
- [8] Xuan, Y. and Roetzel, W., 2000, Conceptions of Heat Transfer Correlation of Nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 43, No. 19, 2000, pp. 37013707.