

## STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI FLUIDA NANO $Al_2O_3$ /ETHYLENE GLYCOL PADA *CIRCULAR TUBE* DI BAWAH KONDISI FLUKS KALOR KONSTAN

Defri Irawan<sup>1</sup>, Budi Kristiawan<sup>2</sup>, Eko Prasetyo Budiana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup>Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

### **Keywords :**

*Heat transfer coefficient  
Nanofluids  
Particle concentrations  
Thermal conductivity  
 $Al_2O_3$  nano particle*

### **Abstract :**

*This research was conducted to examine the thermal conductivity and heat transfer characteristic of  $Al_2O_3$ /ethylene glycol nanofluid on a circular tube heat exchanger under constant heat flux conditions.  $Al_2O_3$  nanoparticles were dispersed in ethylene glycol as base fluid at three different particles concentration of 0,2%, 0,5%, and 1,0% w/v, respectively. A straight horizontal stainless-steel tube of 1,2 m length, 0,005 m inner diameter and 0,0063 m outer diameter was used as a test section. A nickelin coil heater was connected to an AC regulated power supply to obtain constant wall heat-flux boundary condition. The flow rates were adjusted to obtain the Reynolds number specification from 350 to 700. The result shows that the effective thermal conductivity increases from its base fluid. The highest enhancement of thermal conductivity of the observed nanofluids is 5,81% for nanoparticles concentration of 1,0% w/v. For the same Reynolds number, heat transfer increases with the increase of the Nusselt number from base fluid to nanofluids at  $x/D_i = 200$  with the highest value of 37,62% for 1,0% w/v. At the Reynolds number variation, the highest Nusselt number enhancement at  $x/D_i = 200$  reaches 45,52% from Reynolds number 350 to 630 concentration of 1,0% w/v.*

### **PENDAHULUAN**

Latar belakang dilaksanakannya penelitian ini yaitu berdasarkan perkembangan penukar kalor yang membutuhkan bentuk kompak namun dengan perpindahan kalor yang tinggi. Hal tersebut dapat dicapai dengan menggunakan fluida kerja yang memiliki transfer kalor yang baik, dan perkembangan saat ini adalah dengan menggunakan penambahan partikel nano pada fluida dasar yang digunakan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui peningkatan nilai konduktifitas termal pada fluida nano dengan fluida dasar EG pada penambahan partikel nano  $Al_2O_3$  dibandingkan dengan fluida kerja berupa EG murni. Mengetahui nilai perpindahan kalor dari fluida kerja nano  $Al_2O_3$ /EG sebagai fluida kerja pada penukar kalor. Mengetahui pengaruh dari bilangan Reynolds dan variasi konsentrasi partikel terhadap nilai perpindahan kalor fluida nano pada penukar kalor. Dan manfaat yang diharapkan yaitu untuk Memberikan pengetahuan tambahan mengenai fluida kerja transfer kalor yang berupa fluida nano. Fluida kerja transfer kalor fluida nano diharapkan dapat meningkatkan transfer kalor dari aplikasi alat penukar kalor. Beberapa artikel yang meneliti dari penggunaan fluida nano akan dibahas pada bagian berikut ini.

Torii (2007) meneliti mengenai perpindahan kalor secara konveksi dari suspensi partikel nano

berlian dengan air sebagai fluida dasarnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas fluida nano meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi partikel. Nilai bilangan Reynolds dan besar konsentrasi partikel sangat mempengaruhi besarnya nilai koefisien perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi partikel, nilai bilangan Reynolds, dan nilai konduktifitas termal fluida kerja.

Hwang *et al.* (2009) meneliti mengenai aliran dan karakteristik perpindahan kalor konveksi fluida nano  $Al_2O_3$ /air dibawah kondisi fluks kalor konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan partikel nano ke dalam fluida dasar meningkatkan koefisien perpindahan kalor seiring dengan meningkatnya jumlah volume dari partikel nano pada larutan. Peningkatan mencapai 8% untuk fraksi volum 0,3% pada rentang bilangan Reynolds yang sama.

Anoop *et al.* (2009) meneliti mengenai pengaruh ukuran dan konsentrasi partikel nano pada perpindahan kalor konveksi dari fluida nano  $Al_2O_3$ /air pada aliran laminar dibawah kondisi fluks kalor konstan. Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien perpindahan kalor fluida nano lebih tinggi dibandingkan dengan fluida dasarnya, serta meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds dan konsentrasi dari partikel yang digunakan.

Liu dan Yu (2010) melakukan penelitian mengenai karakteristik perpindahan kalor fluida nano  $Al_2O_3$ /air pada saluran mini dibawah kondisi fluks kalor konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor dan bilangan Nusselt fluida nano lebih tinggi dari fluida dasarnya dan meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds dan laju aliran. Penggunaan fluida nano sebagai fluida kerja transfer kalor dapat dikatakan sangat menjanjikan karena hasil penelitian menunjukkan peningkatan koefisien perpindahan kalor yang tinggi.

## METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini menguji mengenai konduktifitas termal dari fluida kerja, kemudian mengenai perpindahan kalor yang terjadi pada fluida nano dibandingkan dengan fluida dasarnya. Alat yang digunakan terdiri dari saluran uji, pemanas, pendingin, serta pengontrol dan pengukur. Saluran uji terdiri dari pompa, saluran uji, serta penampung. Untuk alat pengukur menggunakan *thermocouple reader* yang telah terintegrasi untuk temperatur masuk dan keluar fluida, serta temperatur dinding luar seksi uji. Seksi uji berupa pipa *stainless-steel* sepanjang 1,2 m, dengan diameter dalam 0,005 m dan diameter luar 0,0063 m. Untuk mengalirkan fluida menggunakan pompa sentrifugal dengan debit dari variasi bilangan Reynolds dari 350 hingga 630. Untuk mendapatkan fluks kalor konstan digunakan kawat nikelin yang dililitkan pada seksi uji dan dihubungkan dengan regulator AC yang dapat diatur besar dayanya yang berkisar  $450^{±15}$  Watt. Untuk mengurangi kehilangan panas, seluruh seksi uji dibungkus dengan insulator panas.

Digunakan 5 termokopel untuk mengetahui temperatur dinding luar seksi uji yang dipasang pada

posisi 0,2 m ( $T_{s1}$ ), 0,4 m ( $T_{s2}$ ), 0,6 m ( $T_{s3}$ ), 0,8 m ( $T_{s4}$ ), dan 1,0 m ( $T_{s5}$ ). Kemudian dua termokopel lain digunakan untuk mengetahui temperatur masuk dan keluar fluida. Gambar 1 adalah skema dari alat yang digunakan.

Partikel nano yang digunakan adalah  $Al_2O_3$ . Serta menggunakan variasi konsentrasi, dari 0,2 hingga 1,0% dari partikel nano pada fluida dasar *ethylene glycol*. Untuk mendapatkan fluida nano yang stabil, larutan diaduk menggunakan pengaduk magnetik dan diagitasi dengan menggunakan *ultrasonic vibrator*. Setelah fluida nano didapat, dilakukan pengujian konduktivitas termal dari fluida nano menggunakan alat *Thermal Conductivity of Liquid and Gases P.A. Hilton LTD* tipe H111 untuk mendapatkan nilai konduktifitas termal dari fluida kerja.

Data yang didapatkan dari penelitian ini adalah debit fluida, temperatur masuk dan keluar fluida, serta temperatur dinding luar seksi uji. Dari data yang didapatkan maka akan didapatkan nilai koefisien perpindahan kalor serta nilai bilangan Nusselt dari fluida kerja.

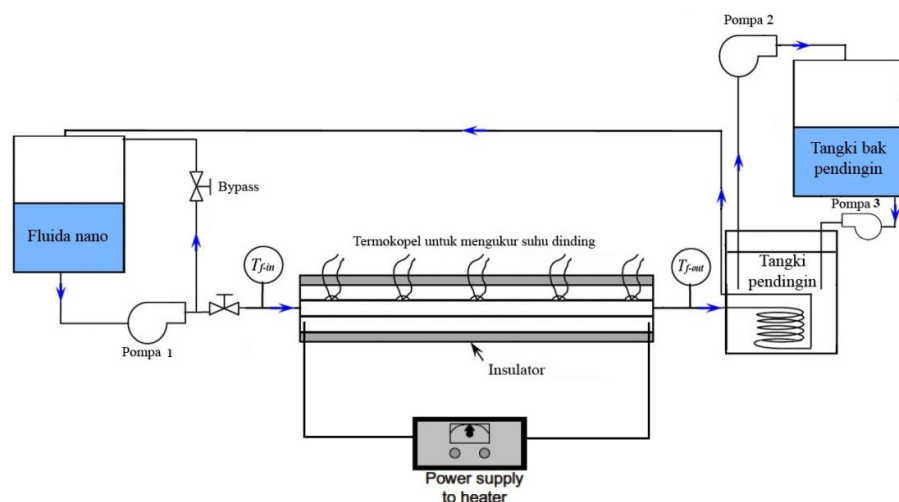
## Fluida Nano Sifat-sifat fluida nano

- Densitas Fluida Nano

Densitas dapat didefinisikan sebagai massa suatu zat per satuan volume.

$$\rho_{nf} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_{bf} \quad (1)$$

Dimana  $\rho_{nf}$  adalah densitas fluida nano ( $kg/m^3$ ),  $\phi$  adalah fraksi volume fluida nano,  $\rho_{bf}$  adalah densitas fluida dasar ( $kg/m^3$ ),  $\rho_p$  adalah densitas partikel nano ( $kg/m^3$ ). Persamaan diatas didapat dari korelasi Pak dan Cho (1998), yang diambil dalam jurnal Duangthongsuk dan Wongwises (2010).



Gambar 1. Skema alat penelitian

- Viskositas

Pada penelitian ini, viskositas yang dipakai adalah viskositas dinamik yang didapatkan dari perhitungan prediksi menggunakan persamaan dari Einstein (1956) yaitu:

$$\mu_{eff} = (1 + 2,5 \phi_p) \mu_{bf} \quad (2)$$

Dimana  $\mu_{eff}$  adalah viskositas efektif fluida nano,  $\phi_p$  adalah fraksi volume dari partikel,  $\mu_{bf}$  adalah viskositas dinamik fluida dasar

- Kalor spesifik fluida nano

Untuk fluida nano dimana terdapat fraksi volume, kalor spesifik efektif fluida nano pada tekanan konstan ( $cp,nf$ ) dapat diestimasi berdasarkan korelasi dari Xuan dan Roetzel (2000) sebagai berikut:

$$cp,nf = \frac{(1-\phi) \rho_{bf} c_{p,bf} + \phi \rho_p c_{p,p}}{\rho_{nf}} \quad (3)$$

Dimana  $cp,nf$ ,  $cp,bf$ ,  $cp,p$  berturut turut adalah kalor spesifik fluida nano, kalor spesifik fluida dasar, dan kalor spesifik partikel (kJ/kg.K),  $\phi$  adalah fraksi volume dari partikel,  $\rho_{bf}$ ,  $\rho_p$ , dan  $\rho_{nf}$  berturut-turut adalah densitas dari fluida dasar, partikel nano, serta fluida nano (kg/m<sup>3</sup>)

- Konduktifitas termal

Dari pengujian konduktifitas termal yang dilaksanakan, akan didapatkan data berupa voltase, arus serta temperatur inti dan selimut dari seksi uji. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari

besar perpindahan kalor insidental ( $Q_i$ ) yang akan digunakan untuk mendapatkan data konduktifitas termal dari fluida nano dengan penambahan partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang belum memiliki data nilai konduktifitas termal sebelumnya. Perhitungan dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

Menentukan temperatur rata-rata dengan Persamaan::

$$(T1+T2)/2 \quad (4)$$

Dimana T1 adalah temperatur plug dari alat, T2 adalah temperatur jacket dari alat.

$$Q_e = V \times I \quad (5)$$

Beda temperatur dapat dihitung dengan menggunakan korelasi:

$$\Delta T = T1 - T2 \quad (6)$$

Menghitung besar kalor yang terkonduksi melalui fluida dalam alat:

$$Q_c = \frac{kA \Delta T}{\Delta r} \quad (7)$$

Dimana k adalah konduktifitas termal referensi dari fluida kerja yang dapat dicari dengan interpolasi dari data referensi air dan EG sebagai berikut:

Tabel 1. Data referensi nilai k EG (ASHRAE, 2009)

Temperatur ( °C )	K (W/m.°C)
30	0,2594
35	0,2597
40	0,2601
45	0,2612
50	0,2614

Menghitung perpindahan kalor insidental, yaitu kalor yang hilang dari elemen listrik alat tetapi bukan dari konduksi, namun dari mekanisme lain seperti radiasi dan konveksi. Nilai tersebut didapat dengan persamaan:

$$Q_i = Q_e - Q_c \quad (8)$$

Setelah nilai  $Q_i$  didapatkan, maka dibuat grafik antara  $Q_i$  dengan  $\Delta t$ . Grafik ini akan menghasilkan persamaan yang akan digunakan selanjutnya untuk menentukan nilai konduktifitas termal dengan persamaan:

$$k = \frac{Q_c \Delta r}{A \Delta T} \quad (9)$$

Dimana knf adalah konduktifitas termal dari fluida nano (W/m.°C),  $Q_c$  adalah Perpindahan kalor secara

konduksi melalui fluida dasar (Watt),  $Q_e$  adalah Perpindahan kalor secara konduksi melalui fluida nano (Watt),  $\Delta r$  adalah Jarak rongga dari tabung dalam dan luar (0,0003 m), A adalah Luas area konduksi (0,0133 m<sup>2</sup>),  $\Delta T$  adalah Perbedaan temperatur antara T1 dan T2 (°C),  $Q_e = V \times I$ , adalah kalor yang diterima dari elemen (Watt) dari voltase dan arus yang didapat pada pengujian.

$Q_i$  adalah perpindahan kalor insidental (Watt) yaitu seluruh perpindahan kalor yang terjadi dari elemen ke inti dari alat selain yang ditransfer melalui konduksi melewati fluida yang sedang diuji, meliputi:

- Kalor terkonduksi dari inti ke selubung alat
- Kalor teradiasi dari inti ke selubung.
- Kalor yang hilang ke lingkungan.

Konduktifitas termal dari fluida nano divalidasi dengan menggunakan beberapa persamaan empirik yang ada. Pada penelitian ini menggunakan validasi dengan korelasi dari Yu dan Choi (1993), Hamilton-Crosser (1962), serta pemodelan Bruggeman (1935).

- Validasi menggunakan persamaan Yu dan Choi (1993)

$$k_{nf} = \left[ \frac{\bar{h}_p - 2\bar{h}_{bf} + 2(\bar{h}_p - \bar{h}_{bf})(1 + \beta)^3 \phi}{\bar{h}_p + 2\bar{h}_{bf} (\bar{h}_p - \bar{h}_{bf})(1 + \beta)^3 \phi} \right] k_{bf} \quad (10)$$

Nilai  $\beta$  yang biasa digunakan untuk menghitung konduktifitas termal dari fluida nano yaitu 0,1

- Validasi menggunakan persamaan Hamilton-Crosser (1962)

$$k_{nf} = k_f \left[ \frac{\bar{h}_p + (n-1)\bar{h}_f - (n-1)\phi(\bar{h}_f - \bar{h}_p)}{\bar{h}_p + (n-1)\bar{h}_f + \phi(\bar{h}_f - \bar{h}_p)} \right] \quad (11)$$

Nilai yang digunakan untuk partikel dengan bentuk bulat (*spherical particle*) adalah 3

- Validasi menggunakan persamaan Wasp Model (1977)

$$k_{nf} = k_w \left[ \frac{\bar{h}_p + 2k_w - 2\phi(k_w - \bar{h}_p)}{\bar{h}_p + 2k_w + \phi(k_w - \bar{h}_p)} \right] \quad (12)$$

dimana  $k_{nf}$ ,  $k_p$ ,  $k_w$  dan  $\phi$  adalah konduktivitas termal fluida nano, partikel nano, fluida dasar, fraksi volum fluida nano secara berurutan.

**Penentuan fraksi volume**

Pada penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi partikel, untuk dapat diperbandingkan dengan referensi yang ada, diperlukan konversi untuk dapat menjadi fraksi volum. Untuk menentukan volum dari partikel, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{W_{partikel}}{\rho_{partikel}} \quad (13)$$

Dan untuk mendapatkan fraksi volume dari fluida nano dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\phi = \frac{V_{partikel}}{V_{larutan}} \quad (14)$$

**Perpindahan kalor**

Langkah perhitungan yang akan dilakukan mula-mula adalah dengan mencari nilai perpindahan kalor yang terjadi pada fluida nano. Perhitungan akan didefinisikan pada koefisien perpindahan kalor konvektif lokal dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_{nf,x} = \frac{\dot{q}}{T_{i,w}(x) - T_m(x)} \quad (15)$$

Dimana  $h_{nf,x}$  adalah koefisien perpindahan kalor lokal dari fluida nano ( $W/m^2K$ ),  $\dot{q} = (\dot{m}c_p(T_{out} - T_{in}))/\pi D_i L$  adalah fluks kalor dari seksi uji ( $W/m^2$ ),  $T_{i,w}(x)$  adalah temperatur dinding dalam tabung ( $^{\circ}C$ ),  $T_m(x)$  adalah temperatur bulk rata pada posisi  $x$  ( $^{\circ}C$ ),  $D_i$  adalah diameter dalam tabung stainless (m),  $L$  adalah panjang seksi uji (m),  $\dot{m} = \rho u A_c$  adalah laju aliran massa (kg/s),  $c_p$  adalah kalor spesifik dari fluida (kJ/kg.K).

Karena temperatur dinding dalam tidak bisa diukur secara langsung, nilainya dapat dicari dengan menggunakan persamaan konduktifitas termal untuk silinder dari Pak dan Cho (1991) sebagai berikut.

$$T_{i,w}(x) = T_{o,w}(x) - \frac{q [2D_o^2 \ln(D_o/D_i) - (D_o^2 - D_i^2)]}{4\pi (D_o^2 - D_i^2) k_s x} \quad (16)$$

Dimana  $T_{o,w}(x)$  adalah temperatur dinding luar ( $^{\circ}C$ ),  $q$  adalah kalor yang disalurkan ke seksi uji (W),  $k_s$  adalah konduktifitas termal dari pipa (stainless steel) ( $W/m.^{\circ}C$ ),  $D_o$  adalah diameter luar dari pipa (m),  $x$  adalah posisi longitudinal dari seksi uji dari saluran masuk (m).

Temperatur bulk rata-rata  $T_m(x)$  pada salah satu titik pada seksi uji dapat ditentukan dari keseimbangan energi di titik mana saja dari pipa dengan fluks kalor konstan. Untuk  $dx$  dari pipa dengan fluida incompressible dan tekanan diabaikan, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Dq_{conv} &= \dot{q} p dx \\ &= \dot{m} c_p dT_m \end{aligned} \quad (17)$$

Dimana keliling dari pipa adalah  $p = \pi D_i$  dan  $dT_m$  adalah temperatur diferensial rata-rata dari fluida

pada bagian tersebut. Dari persamaan (17), maka akan didapat:

$$dT_m = \frac{\dot{q} \pi D_i}{\dot{m} c_p} dx \quad (18)$$

Variasi dari  $T_m$  terhadap  $x$  ditentukan melalui integrasi dari  $x = 0$  ke  $x$ , kemudian didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T_m(x) = T_{in} + \frac{(T_{out} - T_{in})}{L} x \quad (19)$$

Mensubstitusikan persamaan (16) dan (19) kepada persamaan (15), koefisien perpindahan kalor  $h_{nf,x}$  didapat melalui persamaan berikut:

$$\left\{ T_{o,w}(x) - \frac{q [2D_o^2 \ln(D_o/D_i) - (D_o^2 - D_i^2)]}{4\pi (D_o^2 - D_i^2) k_s x} \right\} \left\{ T_{in} + \frac{(T_{out} - T_{in})}{L} x \right\} \quad (20)$$

Dengan memasukkan temperatur dinding, temperatur fluida, serta fluks kalor konstan yang didapat dari pengukuran kedalam persamaan (20), maka koefisien perpindahan kalor dapat diketahui dalam studi ini. Setelah koefisien perpindahan kalor dari fluida nano diketahui, serta konduktifitas termal diketahui dari pengujian. Bilangan Nusselt dapat diketahui dari persamaan berikut ini:

$$Nu_{nf,x} = \frac{h_{nf,x} D_i}{k_{nf}} \quad (21)$$

Bilangan Nusselt juga dapat diketahui melalui persamaan dari Shah untuk aliran laminar dengan kondisi fluks kalor konstan yang dapat dilihat dari Bejan (2004) seperti pada persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Nu &= 1,953 \left( Re Pr \frac{D}{x} \right)^{1/4} \\ &\text{untuk } \left( Re Pr \frac{D}{x} \right) \geq 33,3 \end{aligned} \quad (22)$$

Bilangan Reynolds, Prandtl, dan Peclet dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_i \mu_f} \quad (23)$$

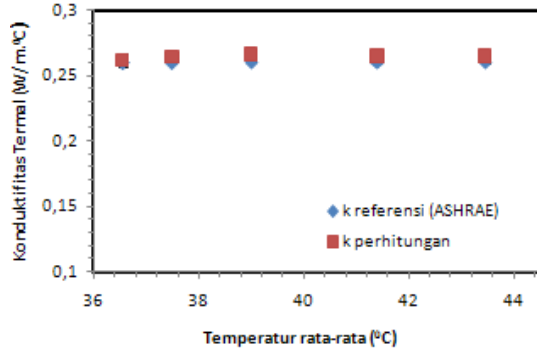
$$Pr = \frac{C_{p-f} \mu_f}{k_{nf}} \quad (24)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Konduktifitas termal**

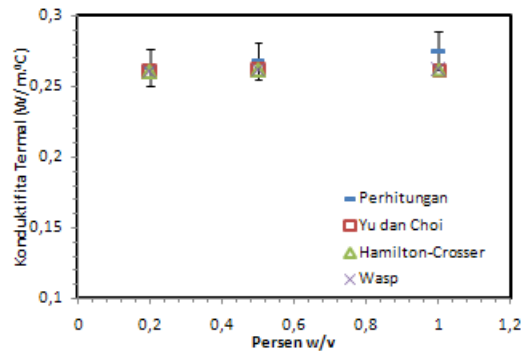
Dari hasil penelitian konduktifitas termal dari fluida nano menggunakan alat Termal *Conductivity of Liquid and Gases* P.A. Hilton LTD tipe H111, akan didapatkan data yang digunakan untuk melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai konduktifitas termal dari fluida nano. Nilai perhitungan akan divalidasi menggunakan nilai dari data referensi untuk fluida dasar dan dengan korelasi empirik dari Yu dan Choi, Hamilton Crosser, serta Wasp Model untuk fluida nano. Gambar 2 menunjukkan perbandingan dari hasil perhitungan dengan data referensi dari fluida dasar EG (ASHRAE, 2009). Dari hasil didapatkan nilai konduktifitas termal untuk perhitungan sebesar 0,2669 W/m. $^{\circ}C$  dan dari data referensi EG sebesar

0,2600 W/m.°C. Ketidaksesuaian dari perhitungan dengan nilai referensi sebesar 2,7%.



Gambar 2. Perbandingan antara k referensi dengan perhitungan dari EG

Grafik 3 menunjukkan nilai konduktivitas termal dari perhitungan untuk fluida nano dengan nilai validasi dari beberapa korelasi empirik yang ada.

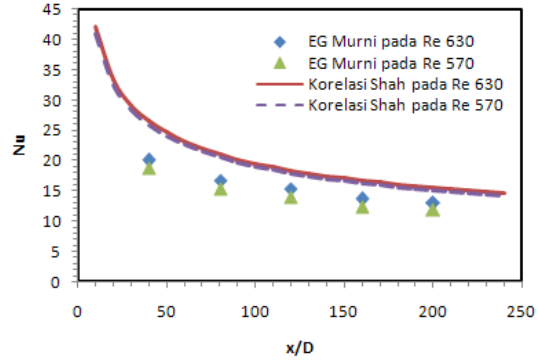


Gambar 3. Grafik hubungan k dari perhitungan dengan validasi

Dari grafik didapatkan nilai konduktivitas termal dari perhitungan memiliki nilai yang lebih tinggi dari data validasi. Dari perhitungan didapatkan ketidaksesuaian sebesar 1,1%, 2,48%, dan 4,92% berturut-turut untuk fluida nano 0,2%, 0,5% dan 1,0%. Dari grafik didapatkan bahwa nilai perhitungan dan validasi memiliki trend yang sama.

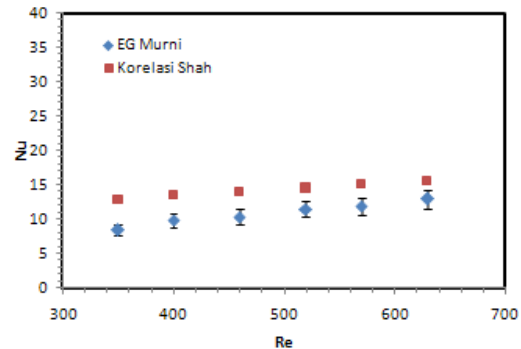
**Perpindahan kalor**

Pada gambar 4 menunjukkan hubungan Nu dengan posisi axial untuk fluida dasar. Penelitian ini dilakukan pada kondisi laminar di *entrance region*, pada *entrance region* laminar nilai Nu semakin menurun hingga akan mencapai kondisi linear dengan nilai 4,36 yang terjadi pada wilayah *fully developed*. Nilai perhitungan akan dibandingkan dengan nilai dari korelasi Shah. Dari perhitungan didapatkan nilai dibawah nilai dari korelasi Shah, namun data hasil penelitian memiliki nilai trend yang sama dengan korelasi yang digunakan. Hal ini juga terjadi pada penelitian oleh Wen dan Ding (2004), serta Murshed *et al.* (2008)



Gambar 4. Grafik hubungan Nu dengan posisi axial untuk fluida dasar

Pada gambar 5 menunjukkan hubungan Nu dengan Re untuk fluida dasar sebagai perbandingan antara data perpindahan kalor dari data penelitian dengan hasil perhitungan korelasi empirik yang ada pada variasi bilangan Reynolds. Dari data yang telah didapatkan, maka akan dapat diketahui nilai perpindahan kalor yang terjadi pada fluida nano.

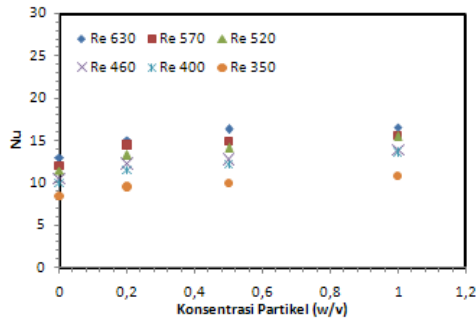


Gambar 5. Grafik hubungan Nu dengan Re untuk fluida dasar

Penyimpangan rata-rata nilai aktual Nu dari fluida dasar dengan korelasi Shah sebesar 24,1% dibawah korelasi Shah. Hal ini sesuai dengan gambar 5 yang menyebutkan bahwa terjadi *overpredict* dari korelasi Shah, yang memiliki nilai Nu yang lebih tinggi dari nilai perhitungan. Trend yang didapat dari data perhitungan sesuai dengan korelasi Shah dan dari Torii (2007), Murshed *et al.* (2008), serta Murshed Castro (2011).

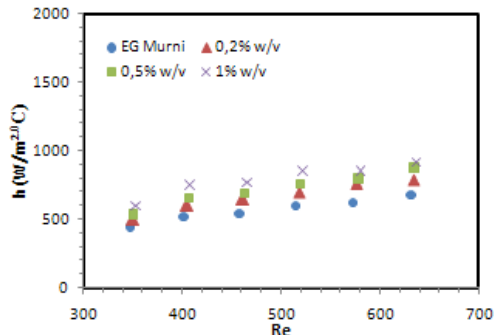
Pengaruh konsentrasi partikel nano terhadap karakteristik perpindahan kalor fluida nano dapat dilihat pada grafik 6 yang menunjukkan bahwa konsentrasi partikel dapat mempengaruhi nilai bilangan Nusselt yang didapat. Dapat dilihat bahwa bilangan Nusselt meningkat dari fluida dasar ke fluida nano, dan peningkatan menjadi linear pada fluida nano seiring bertambahnya jumlah konsentrasi partikel nano. Peningkatan nilai bilangan Nusselt dari fluida dasar ke fluida nano pada posisi x/D = 200 dengan peningkatan tertinggi sebesar 37,62% untuk variasi 1,0% w/v. Fenomena peningkatan nilai perpindahan kalor ini serupa dengan hasil penelitian

dari Anoop *et al.* (2009) dan Murshed *et al.* (2008). Peningkatan ini terjadi karena adanya peningkatan nilai konduktifitas termal dari fluida kerja yang dapat mempengaruhi perpindahan kalor dari fluida kerja tersebut.



Gambar 6. Grafik hubungan Nu dengan konsentrasi partikel untuk  $x/D$  200.

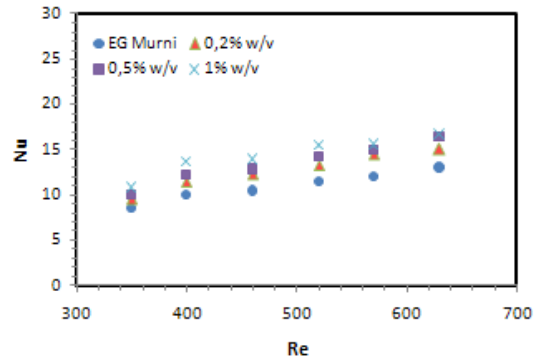
Pada gambar 7 menunjukkan pengaruh bilangan Reynolds terhadap karakteristik perpindahan kalor. Pengujian karakteristik perpindahan kalor dari fluida kerja pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan bilangan Reynolds aliran di pipa serta konsentrasi partikel nano dalam fluida dasar. Pengaruh variasi bilangan Reynolds aliran fluida di pipa dalam serta pengaruh variasi konsentrasi partikel pada fluida kerja terhadap nilai koefisien perpindahan kalor dapat dilihat pada gambar 7. Sedangkan pengaruh dari variasi bilangan Reynolds aliran fluida di pipa dalam serta pengaruh variasi konsentrasi partikel pada fluida kerja terhadap nilai perpindahan kalor (dilihat dari nilai Nu) dapat dilihat pada gambar 8. Karakteristik perpindahan kalor dari fluida kerja ini dapat dilihat dari hubungan antara koefisien perpindahan kalor ( $h$ ) dengan bilangan Reynolds, sedangkan untuk perpindahan kalor dari fluida kerja ini dapat dilihat dari hubungan antara bilangan Nusselt ( $Nu$ ) dengan bilangan Reynolds ( $Re$ ).



Gambar 7. Grafik hubungan koefisien perpindahan kalor dengan  $Re$  fluida kerja pada  $x/D$  200

Dari gambar 8 didapat bahwa nilai koefisien perpindahan kalor meningkat seiring peningkatan nilai  $Re$  dan konsentrasi partikel nano. Pada variasi nilai bilangan Reynolds, peningkatan nilai Nusselt tertinggi untuk  $x/D = 200$  mencapai 45,52% dari

nilai bilangan Reynolds 350 hingga 630 untuk variasi konsentrasi partikel  $Al_2O_3$  1,0% w/v. Dari gambar 8 juga terjadi trend peningkatan yang sama dengan grafik pada gambar 7.



Gambar 8. Grafik hubungan Nu dengan  $Re$  fluida kerja pada  $x/D$  200

Dari dua grafik didapatkan bahwa nilai Nu akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai bilangan Reynolds dan konsentrasi partikel. Fenomena ini serupa dengan penelitian dari Murshed *et al.* (2008), Liu dan Yu (2011), Duangthongsuk dan Wongwises (2010), serta Murshed dan Castro (2011). Bilangan Reynolds ( $Re$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya inersia dengan gaya kekentalan, di dalam lapis batas kecepatan. Untuk harga  $Re$  yang tinggi, gaya inersia akan lebih berpengaruh daripada gaya kekentalan. Untuk harga  $Re$  yang rendah, gaya kekentalan akan lebih berpengaruh dari gaya inersia. Hal ini akan mempengaruhi tebalnya lapis batas aliran. Apabila nilai bilangan Reynolds tinggi, lapis batas akan semakin tipis, karena lapis batas dipengaruhi oleh gaya inersia yang menekan lapis batas. Berkurangnya tebal fluida yang memiliki kecepatan rendah akan meningkatkan jumlah fluida berkecepatan tinggi yang pergerakan molekulnya akan mempercepat proses penarikan molekul dengan temperatur lebih tinggi keluar lapis batas dan mempercepat laju transfer kalor. Variasi konsentrasi partikel juga akan mempengaruhi besarnya nilai perpindahan kalor dari fluida, dari penelitian yang didapatkan, peningkatan perpindahan kalor pada fluida kerja meningkat dari fluida dasar ke fluida nano. Hal ini disebabkan adanya peningkatan nilai konduktifitas termal dari fluida kerja karena penambahan partikel yang memiliki nilai konduktifitas termal lebih tinggi dibandingkan dengan fluida dasarnya. Nilai konduktifitas thermal mengindikasikan seberapa cepat kalor akan dialirkan pada suatu material..

### KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai pengujian karakteristik perpindahan kalor dari fluida nano  $Al_2O_3$ /Ethylene Glycol pada pipa

mendatar di bawah kondisi fluks kalor yang konstan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar konsentrasi partikel nano  $Al_2O_3$  yang didispersikan ke dalam fluida dasar EG maka semakin besar nilai konduktifitas termalnya. Nilai konduktifitas termal fluida kerja mengalami peningkatan dari fluida dasar dengan peningkatan tertinggi pada variasi 1,0% w/v sebesar 5,81%.
2. Penambahan partikel nano pada fluida kerja akan meningkatkan nilai bilangan Nusselt lokal dan koefisien perpindahan kalor pada setiap titik pengukuran. Peningkatan nilai bilangan Nusselt dari fluida dasar ke fluida nano pada posisi  $x/D = 200$  dengan peningkatan tertinggi sebesar 34,75% untuk variasi 1,0% w/v. Sedangkan peningkatan nilai koefisien perpindahan kalor fluida dasar ke fluida nano pada posisi  $x/D = 200$  dengan peningkatan tertinggi sebesar 45,52% untuk variasi 1,0% w/v.
3. Semakin besar laju aliran massa fluida kerja maka akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan kalor dan bilangan Nusselt

#### SARAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai pengujian karakteristik perpindahan kalor dari fluida nano  $Al_2O_3$ /Ethylene Glycol pada pipa mendatar di bawah kondisi fluks kalor yang konstan, menyarankan untuk diadakan pengembangan penelitian dengan modifikasi variasi bilangan Reynolds dengan rentang yang lebih luas, variasi jenis fluida dasar yang digunakan, variasi konsentrasi partikel yang digunakan, serta variasi jenis partikel nano yang digunakan.

#### DAFTAR NOTASI

$A$	= Luas area ( $m^2$ )
$c_p$	= Kalor spesifik fluida ( $kJ/kg.K$ )
$c_{p,bf}$	= Kalor spesifik fluida dasar ( $kJ/kg.K$ )
$c_{p,nf}$	= Kalor spesifik fluida nano ( $kJ/kg.K$ )
$c_{p,p}$	= Kalor spesifik partikel ( $kJ/kg.K$ )
$D$	= Diameter dalam pipa (m)
$D_i$	= Diameter dalam tabung (m)
$D_o$	= Diameter luar tabung (m)
$h$	= Koefisien perpindahan kalor konveksi ( $W/m^2.^\circ C$ )
$h_{nf-x}$	= Koefisien perpindahan kalor lokal dari fluida nano ( $W/m^2.^\circ C$ )
$h_x$	= Koefisien perpindahan kalor konveksi lokal ( $W/m^2.^\circ C$ )
$I$	= Arus (ampere)
$k$	= Konduktifitas termal fluida ( $W/m.^\circ C$ )
$k_{bf}$	= Konduktifitas termal dari fluida dasar ( $W/m.^\circ C$ )
$k_{nf}$	= Konduktifitas termal dari fluida nano ( $W/m.^\circ C$ )
$k_s$	= Konduktifitas termal dari pipa (stainless steel) ( $W/m.^\circ C$ )
$L$	= Panjang seksi uji (m)

$\dot{m}$	= Laju aliran massa ( $kg/s$ )
$Nu$	= Bilangan Nusselt
$Pr$	= Bilangan Prandtl
$q$	= Kalor yang disalurkan (Watt)
$\dot{Q}_c$	= Perpindahan kalor secara konduksi melalui fluida (Watt)
$\dot{Q}_{c-nf}$	= Perpindahan kalor secara konduksi melalui fluida nano (Watt)
$\dot{Q}_e$	= Kalor yang diterima dari elemen (Watt)
$\dot{Q}_{e,nf}$	= Kalor yang diterima dari elemen pada fluida nano (Watt)
$\dot{Q}_i$	= Perpindahan kalor insidental fluida dasar (Watt)
$\dot{Q}_{i,nf}$	= Perpindahan kalor insidental fluida nano (Watt)
$\dot{q}$	= Fluks kalor dari seksi uji ( $W/m^2$ )
$\dot{q}_s$	= Fluks kalor konstan ( $W/m^2$ )
$\Delta r$	= Jarak rongga dari tabung dalam dan luar (0,0003 m)
$Re$	= Bilangan Reynolds
$\Delta T$	= Perbedaan temperatur antara $T_1$ dan $T_2$ ( $^\circ C$ )
$\Delta T_{nf}$	= Perbedaan temperatur antara $T_1$ dan $T_2$ pada fluida kerja nano ( $^\circ C$ )
$T_1$	= Temperatur <i>plug</i> dari alat ( $^\circ C$ )
$T_2$	= Temperatur <i>jacket</i> dari alat ( $^\circ C$ )
$T_e$	= Temperatur fluida keluar tabung ( $^\circ C$ )
$T_i$	= Temperatur fluida masuk tabung ( $^\circ C$ )
$T_{i,w}(x)$	= Temperatur dinding dalam tabung ( $^\circ C$ )
$T_m$	= Temperatur rata-rata fluida ( $^\circ C$ )
$T_m(x)$	= Temperatur bulk rata pada posisi $x$ ( $^\circ C$ )
$T_{o,w}(x)$	= Temperatur dinding luar ( $^\circ C$ )
$T_s$	= Temperatur permukaan dinding ( $^\circ C$ )
$T_s(x)$	= Temperatur permukaan dinding pada jarak $x$ ( $^\circ C$ )
$u_m$	= Kecepatan rata-rata fluida (m/s)
$V$	= Voltase (Volt)
$V_{nf}$	= Volume campuran/fluida nano ( $cm^3$ )
$V_p$	= Volume dari partikel ( $cm^3$ )
$W$	= Berat (kg)
$w/v$	= Fraksi massa
$x$	= Posisi longitudinal dari seksi uji dari saluran masuk (m)

#### Greek Symbol

$\mu$	= Viskositas dinamik ( $kg/m.s$ )
$\mu_{bf}$	= Viskositas dinamik fluida dasar ( $kg/m.s$ )
$\mu_{eff}$	= Viskositas efektif fluida nano
$\mu_{nf}$	= Viskositas dinamik fluida nano ( $kg/m.s$ )
$\Phi$	= Fraksi volume
$\Phi_p$	= Fraksi volume dari partikel nano
$\rho$	= Massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )
$\rho_{bf}$	= Densitas fluida dasar ( $kg/m^3$ )
$\rho_{nf}$	= Densitas fluida nano ( $kg/m^3$ )
$\rho_p$	= Densitas partikel nano ( $kg/m^3$ )

**DAFTAR PUSTAKA**

- Al-Amayreh, M., 2010, *Experimental Study of Thermal Conductivity of Ethylene Glycol Water Mixtures*, European Journal of Scientific Research, Vol.44 No.2 (2010), pp.300-313.
- Anoop, K. B., Sundararajan, T. & Das, S. K., 2009, *Effect of Particle Size on The Convective Heat Transfer in Nanofluid in Developing Region*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 52, pp. 2189–2195.
- Cengel, Y.A., 2003, *Heat Transfer : A Practical Approach*, 2<sup>nd</sup> edition, McGraw–Hill, New York.
- Hilton, P.A., 1994, *Experimental Operating and Maintenance Manual, Thermal Conductivity of Liquids and Gasses Unit H111*, P.A. Hilton LTD.
- Hwang, K. S., Jang, S. P. & Choi, S. U. S., 2009, *Flow and Convective Heat Transfer Characteristics of Water-Based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids in Fully Developed Laminar Flow Regime*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 52, pp. 193–199.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., 2002, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Ed, John Willey and Sons, New York.
- Liu, D. & Yu, L., 2011, *Single-Phase Thermal Transport of Nanofluids in a Minichannel*, Journal of Heat Transfer, Vol. 133, 031009-1.
- Murshed, S. M. S., Leong, K. C., Yang, C. & Nguyen N. T., 2008, *Convective Heat Transfer Characteristics of Aqueous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids Under Laminar Flow Conditions*, International Journal of Nanoscience, Vol. 7, No.6, pp.325-331.
- Murshed, S. M. S. & Nieto de Castro, C. A., 2011, *Forced Convective Heat Transfer of Nanofluids in Minichannel, in Two Phase Flow, Phase Change and Numerical Modeling*, Ed., A. Ahsan, Chapter 18, pp.419-434, INTECH, Vienna.
- N. Bozorgan and N. Bozorgan, 2012, *Evaluation of Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/EG and TiO<sub>2</sub>/EG Nanofluids as Coolants in the Double-tube Heat Exchanger*, Int. J. Adv. Design and Manufacturing Technology, Vol. 5/ No. 2, pp. 27-34.
- Sigmaaldrich.com, 2011, Aluminium oxide nanopowder, ~13 nm particle size, 99,8% trace metals basis | Sigma-Aldrich, [online], (<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/718475?lang=en&region=ID>).
- Torii, S., 2007, *Experimental Study on Convective Heat Transfer of Aqueous Suspension of Nano-Diamond Particles*, Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007, ISETS07.
- 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.
- 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. 3701-3707.