

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

(terlampir)

4.1.2 Pengolahan Data

Parameter-parameter yang diketahui pada pengujian dapat di lihat pada tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil pengukuran nanofluida 0,5% pada temperatur masuk 40°C

Q(L/mnt)	Thin	Thout
0,25	40,46	34,4
0,3	40,6	34,6
0,35	40,61	34,7
0,4	40,6	34,8
0,45	40,52	34,7
0,5	40,22	34,5

Dari parameter-parameter yang diketahui di atas, maka dapat dilakukan perhitungan unjuk kerja sebagai berikut:

Menghitung *Fluid Properties* Nanofluida

1. Massa Jenis (ρ_{nf}) dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned} \rho_{nf} &= \varphi \rho_p + (1 - \varphi) \rho_{bf} \\ &= 0,05.3970 + (1 - 0,05)1008,2 \\ &= 1029,009 \text{ (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

2. Kalor Jenis (Cp_{nf}) dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} Cp_{nf} &= \frac{\varphi(Cp.\rho)_p + (1 - \varphi)(Cp.\rho)_{bf}}{\rho_{nf}} \\ &= \frac{0,05(729.3970) + (1 - 0,05)(4178,631008,2)}{1029,009} \\ &= 4111,66 \text{ (J/kg.K)} \end{aligned}$$

3. Konduktivitas termal (k_{nf}) dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} k_{nf} &= k_{bf}(4,97\varphi^2 + 2,72\varphi + 1) \\ &= 0,6509(4,97.0,05^2 + 2,72.0,05 + 1) \\ &= 0,640 \text{ W/m.K} \end{aligned}$$

4. Viskositas (μ_{nf}) dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned}\mu_{nf} &= \mu_{bf}(123\varphi^2 + 7,3\varphi + 1) \\ &= 0,0008034(123 \cdot 0,05^2 + 7,3 \cdot 0,05 + 1) \\ &= 0,0008357 \text{ N.s/m}^2\end{aligned}$$

Menghitung Laju Perpindahan Panas

$$\begin{aligned}Q &= \dot{m} \times C_{p_{nf}} \times \Delta T \\ &= 0,004 \times 4111,66(40,46 - 34,4) \\ &= 106,20 \text{ J/s}\end{aligned}$$

Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

1. Laju aliran massa nanofluida (\dot{m})

$$\begin{aligned}A &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \cdot 0,005^2 \\ &= 1,844 \times 10^{-5} \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{4,7 \times 10^{-5}}{1,844 \times 10^{-5}} \\ &= 0,221 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho_{nf} A v \\ &= 1029,009 \cdot 1,844 \times 10^{-5} \cdot 0,221 \\ &= 0,004 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

2. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$\begin{aligned}A &= \pi D L \\ &= 3,14 \cdot 0,005 \cdot 1,1 \\ &= 0,16 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{lm} &= \frac{(T_w - T_{hout}) - (T_w - T_{hin})}{\ln \frac{(T_w - T_{hout})}{(T_w - T_{hin})}} \\ &= \frac{(30 - 34,4) - (30 - 40,6)}{\ln \frac{(30 - 34,4)}{(30 - 40,6)}} \\ &= 6,988\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U &= \frac{Q}{A \cdot \Delta T_{lm}} \\ &= \frac{106,20}{0,16 \cdot 6,988} \\ &= 896,73 \text{ W/m}^2\text{K}\end{aligned}$$

3. Bilangan Reynolds (Re)

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho_{nf} v D}{\mu_{nf}} \\
 &= \frac{1029,0211,0005}{8,357 \times 10^{-4}} \\
 &= 5154,5753
 \end{aligned}$$

4. Bilangan Prandtl (Pr)

$$\begin{aligned}
 Pr &= \frac{C_{p_{nf}} \mu_{nf}}{k_{nf}} \\
 &= \frac{1023,8,357 \times 10^{-4}}{0,6401} \\
 &= 4,38
 \end{aligned}$$

5. Bilangan Nusselt (Nu)

$$\begin{aligned}
 Nu &= 1,86 Re^{0,3} Pr^{0,3} \left(\frac{d}{L}\right)^{0,3} \mu \\
 &= 5,772
 \end{aligned}$$

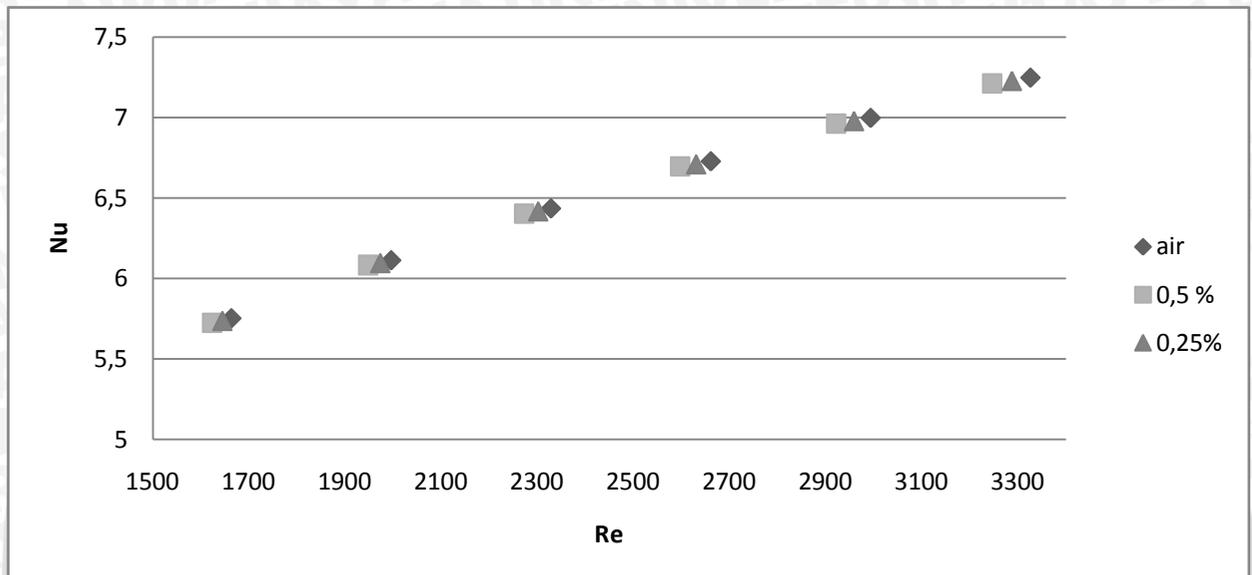
Hasil perbedaan nilai cp,v dan k dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Cp,v dan k

	<i>cp</i>	<i>v</i>	<i>k</i>
<i>air</i>	1008,2	0,0006566	0,6316
<i>Nanofluida 0,25%</i>	1015,60	0,0006696	0,6359
<i>Nanofluida 0,5%</i>	1023	0,0006825	0,6401

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Terhadap Bilangan Nusselt



Gambar 4.1 Grafik hubungan bilangan Reynolds terhadap bilangan Nusselt pada temperatur masuk 40°C

Dari gambar 4.1 grafik hubungan bilangan Reynolds terhadap bilangan Nusselt dengan penggunaan fluida kerja yang berbeda dapat diketahui kecenderungan karakteristik grafik yang sama. Peningkatan bilangan Reynolds diakibatkan oleh peningkatan kecepatan fluida yang mengalir sehingga perpindahan panas konveksinya semakin besar. Besarnya nilai bilangan Reynolds juga mengakibatkan perpindahan panas semakin kecil. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}; Nu = \frac{\text{perpindahan panas konveksi}}{\text{perpindahan panas konveksi}} = \frac{h \cdot D}{k}$$

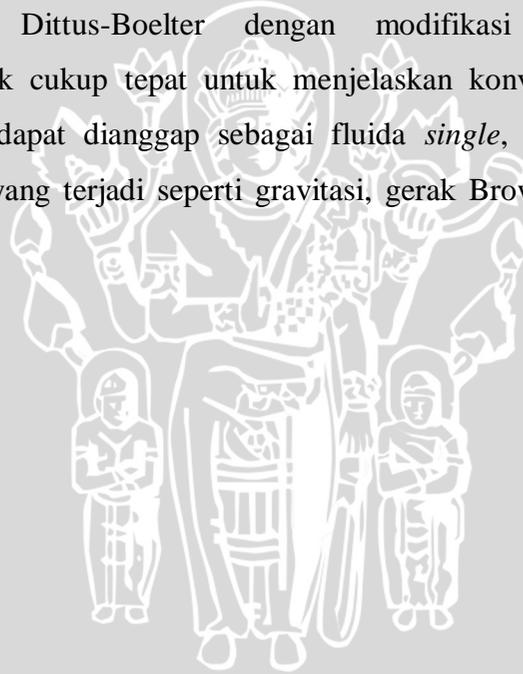
Dengan jenis fluida kerja yang berbeda, terdapat nilai bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt pada temperatur masuk 40 dari yang paling rendah hingga yang paling tinggi berturut-turut adalah fluida kerja nanofluida 0,5%, nanofluida 0,25%, dan air. Pada suhu yang sama, penurunan bilangan Reynolds terhadap air sekitar 2% dan peningkatan bilangan Prandtl sekitar 0,9-6%. Didapatkan juga nanofluida 0,25% mengalami penurunan nilai Nu sebesar 0,6% dan pada nanofluida 0,5% sebesar 1,6%.

Perhitungan bilangan Nusselt dengan menggunakan rumus eksperimen Dittus-Boelter, yaitu:

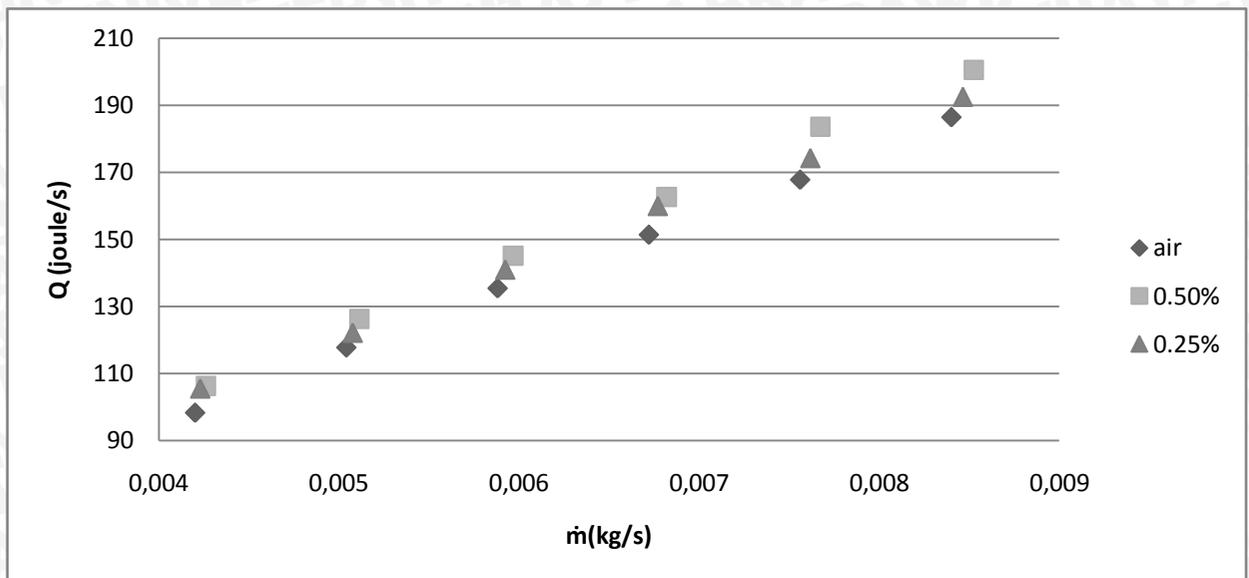
$$Nu = 1,86 Re^{0,3} Pr^{0,3} \left(\frac{d}{L}\right)^{0,3} \mu; Pr = \frac{c p_{nf} \cdot \mu}{k}$$

Pada rumus di atas dengan menambahkan nanopartikel mengakibatkan penurunan bilangan Reynolds yang tidak diimbangi oleh peningkatan bilangan Prandtl, sehingga bilangan Nusselt menurun dikarenakan dengan penambahan nanopartikel akan meningkatkan viskositas nanofluida.

Dan jika dianalisa pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar prosentase massa nanopartikel maka nilai koefisien perpindahan kalor konveksi cenderung tidak mengalami perubahan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt nanofluida yang relatif hampir sama dengan air. Hasil penelitian ini, sesuai dengan hasil penelitian Pak dan Cho (1998) yang menunjukkan kenaikan viskositas yang besar pada nanofluida menyebabkan turbulensi berkurang dan pada akhirnya menyebabkan nilai koefisien konveksinya menurun. Xuan dan Li (2003) juga menyimpulkan bahwa penggunaan persamaan Dittus-Boelter dengan modifikasi *thermal properties* nanofluidanya adalah tidak cukup tepat untuk menjelaskan konveksi pada nanofluida. Karena nanofluida tidak dapat dianggap sebagai fluida *single*, dan dalam nanofluida banyak efek-efek spesial yang terjadi seperti gravitasi, gerak Brownian, gaya *drag* pada partikel, dan difusi.



4.2.2 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Laju Perpindahan Kalor



Gambar 4.2 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap laju perpindahan kalor pada temperatur masuk 40°C

Pada gambar 4.2 grafik pengaruh laju alir massa terhadap laju perpindahan kalor dapat diketahui kecenderungan grafik laju perpindahan kalor mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya laju alir massa. Perbedaan jenis fluida kerja yang digunakan mempengaruhi nilai dari laju perpindahan kalor yang dihasilkan pada temperatur fluida kerja yang sama. Dari Grafik Didapatkan hasil bahwa nanofluida 0,25% mengalami peningkatan sebesar 6,5% dan pada nanofluida 0,5% sebesar 7,4%. Pada grafik diatas terlihat bahwa pada temperatur yang sama dengan penggunaan fluida kerja berbeda terdapat nilai laju perpindahan kalor yang berbeda, hal ini dikarenakan pada masing-masing variasi temperatur terdapat nilai kalor jenis yang berbeda-beda di mana semakin tinggi temperatur dari fluida panas maka kalor jenis yang dihasilkan akan semakin rendah. Dengan semakin tingginya temperatur fluida panas yang digunakan, maka akan menyebabkan jumlah uap panas yang dihasilkan semakin meningkat. Fase uap panas yang terbentuk memiliki kalor jenis yang lebih besar dibandingkan dengan fase cair, karena jarak antar partikel saling berjauhan.

Adanya perbedaan massa jenis akan mempengaruhi besarnya laju alir massa. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$\dot{m} = \rho_{nf} \cdot A \cdot v$$

Dengan adanya laju alir massa yang berbeda dari masing-masing fluida kerja akan mempengaruhi kemampuan dalam hal transfer kalor, sehingga semakin besar transfer kalor

yang terjadi akan meningkatkan selisih temperatur pada fluida panas karena akan semakin banyak molekul-molekul yang berinteraksi dan terjadinya pertukaran kalor antar kedua fluida tersebut.

Hal ini sesuai teori yang menunjukkan adanya hubungan pada rumus:

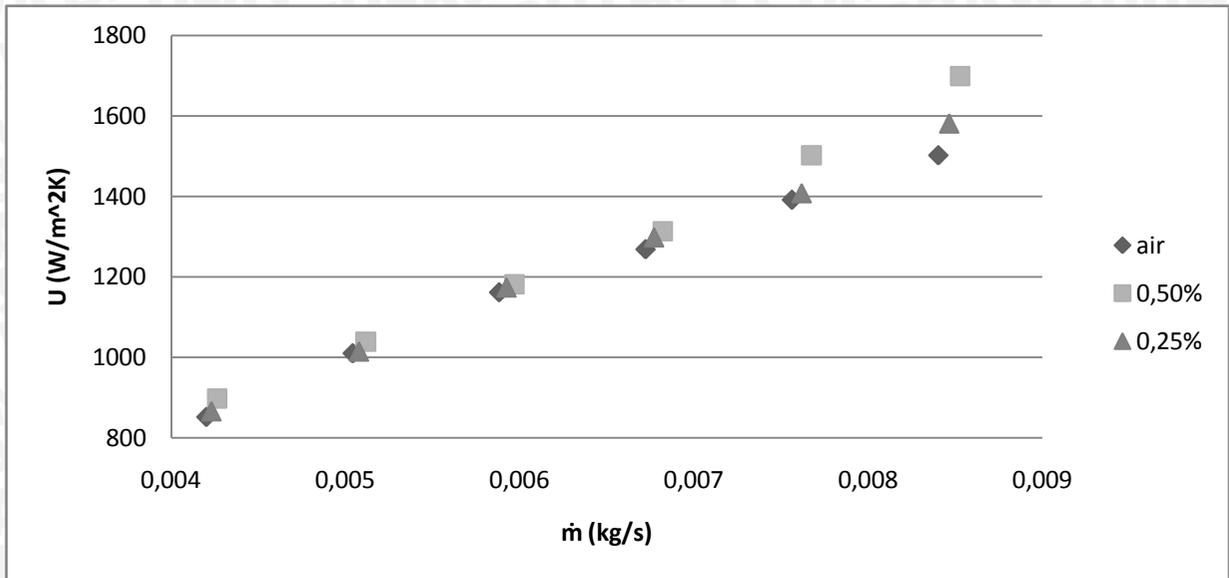
$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Di mana laju perpindahan kalor yang terjadi sebanding dengan besarnya nilai laju alir massa, kalor jenis fluida panas, serta selisih temperatur inlet dan outlet fluida kerja.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



4.2.3 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh



Gambar 4.3 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh pada temperatur masuk 40°C

Pada gambar 4.3 menunjukkan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang meningkat seiring dengan peningkatan laju alir massa. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari yang terendah adalah air, nanofluida 0,25% dan nanofluida 0,5%. Hasil yang diperoleh menunjukkan fluida kerja nanofluida mengalami peningkatan dalam koefisien perpindahan kalor menyeluruh dibandingkan dengan fluida dasarnya. Untuk prosentase massa nanopartikel 0,25% mengalami kenaikan sebanyak 5%-6%, untuk prosentase massa nanopartikel 0,5% mengalami kenaikan sebanyak 10%-11%. Hal ini mendukung penjelasan sebelumnya bahwa dengan penggunaan fluida kerja berbeda terdapat nilai laju perpindahan kalor yang berbeda. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung dengan rumus:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{lmd}$$

Peningkatan koefisien perpindahan panas pada nanofluida menunjukkan adanya peningkatan kemampuan fluida menghantarkan kalor lebih baik. Menurut teori Keblinski (2002), kenaikan ini disebabkan oleh gerak Brownian dari nanopartikel. Adanya lapisan pada molekul antara permukaan cairan dan molekul yang menyebabkan molekul atau partikel berukuran nano lebih mudah bergerak secara acak sehingga semakin sering terjadi tumbukan dan akibatnya meningkatkan konduktivitas termalnya yang disertai dengan peningkatan koefisien perpindahan kalor yang dimiliki fluida tersebut.

Suatu permodelan yang komprehensif telah diusulkan untuk menjelaskan peningkatan konduktivitas termal di dalam nanofluida dan ketergantungannya akan temperatur. Adapun model yang diusulkan tersebut adalah model partikel diam (*stationary particle model*), yang menjelaskan ketergantungan nilai k pada konsentrasi volume dan ukuran partikel. Dan model yang kedua adalah model partikel bergerak (*moving particle model*) yang menjelaskan bahwa ketergantungan temperatur pada medium yang dihubungkan dengan variasi kecepatan nanopartikel dengan temperatur. Jika dianalisa dengan menggunakan teknik model partikel bergerak (*moving particle model*), menurut teori kinetik partikel dijelaskan bahwa konduktivitas termal partikel berbanding lurus dengan kecepatan rata-ratanya, dan kita ketahui gerak Brownian dari nanopartikel akan semakin cepat dengan kenaikan temperatur, hal ini dapat diterangkan dengan menggunakan rumus Stokes-Einstein. Nilai k untuk masing masing fluidanya adalah 0,6136 untuk air, 0,635 untuk nanofluida 0,25%, dan 0,640 untuk nanofluida 0,5%

$$V_p = \frac{2k_B T}{\pi \mu d_p^2}$$

Dari persamaan tersebut dijelaskan bahwa kecepatan partikel tergantung pada faktor T/μ , dan μ adalah viskositas dinamik dari medium fluida dan T adalah temperatur. Dan gerak Brownian dari nanopartikel juga tergantung pada faktor T/μ . Karena viskositas nanofluida menurun dengan peningkatan temperatur, maka menyebabkan kecepatan nanopartikel akan meningkat, sehingga nilai konduktivitas termal nanofluida akan meningkat. Dengan meningkatnya kecepatan, juga akan meningkatkan bilangan Reynoldnya, sehingga nilai koefisien perpindahan kalornya akan semakin besar.

Dengan menggunakan metode partikel diam, juga dapat dianalisa pengaruh prosentase massa terhadap kenaikan nilai koefisien perpindahan konveksi. Pada model ini dijelaskan bahwa peningkatan laju perpindahan kalor adalah berbanding lurus dengan perbandingan konduktivitas dan fraksi massa partikel. Jika prosentase massa meningkat, maka nilai q juga akan meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapat dari percobaan yang telah peneliti lakukan yaitu prosentase massa nanopartikel sangat mempengaruhi kenaikan nilai koefisien perpindahan panas. Hasilnya menunjukkan bahwa secara umum koefisien perpindahan panas akan meningkat dengan adanya peningkatan nilai bilangan Reynolds, namun untuk prosentase massa nanopartikel yang berbeda akan menunjukkan kecenderungan yang berbeda pula.