

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian
(terlampir)

4.1.2 Contoh Perhitungan Data

Parameter-parameter yang diketahui pada pengujian radiator adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil pengukuran nanofluida 2% pada temperatur masuk radiator 60°C

| Th _{in} (°C) | Th _{out} (°C) | Tc _{in} (°C) | Tc _{out} (°C) | Δh (mmHg) |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
| 60 | 43 | 28 | 45.3 | 10 |
| 60 | 44.13 | 28 | 47 | 18 |
| 60 | 46.47 | 28 | 49.1 | 28 |
| 60 | 47.25 | 28 | 52 | 36 |
| 60 | 47.8 | 28 | 52 | 41 |

Tabel 4.2 Spesifikasi radiator

| | |
|--|--------|
| Diameter <i>tube</i> (D _h) | 8,5 mm |
| Jumlah <i>tube</i> (n) | 16 |
| Panjang <i>tube</i> (L) | 4,93 m |

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 menggunakan rumus (2-19):

$$\begin{aligned} \rho_{nf} &= \varphi\rho_p + (1 - \varphi)\rho_{bf} \\ &= 0,02.3970 + (1 - 0,02)983,962 \\ &= 79,4 + (0,98)983,962 \\ &= 79,4 + 964,28276 \\ &= 1043,68276 \text{ (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

2. Kalor Jenis ($C_{p_{nf}}$) dihitung dengan menggunakan rumus (2-20):

$$\begin{aligned} C_{p_{nf}} &= \frac{\varphi(C_p \cdot \rho)_p + (1 - \varphi)(C_p \cdot \rho)_{bf}}{\rho_{nf}} \\ &= \frac{0,02(729.3970) + (1 - 0,02)(4184,3.983,96)}{1043,683} \end{aligned}$$



$$= \frac{57882,6 + 4034840,151}{1043,683}$$

$$= 3921,423 \text{ (J/kg.K)}$$

3. Konduktivitas termal (k_{nf}) dihitung dengan menggunakan rumus (2-18):

$$k_{nf} = k_{bf}(4,97\phi^2 + 2,72\phi + 1)$$

$$= 0,6509(4,97 \cdot 0,02^2 + 2,72 \cdot 0,02 + 1)$$

$$= 0,6876 \text{ W/m.K}$$

4. Viskositas (μ_{nf}) dihitung dengan menggunakan rumus (2-21):

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(123\phi^2 + 7,3\phi + 1)$$

$$= 4,836 \times 10^{-4}(123 \cdot 0,02^2 + 7,3 \cdot 0,02 + 1)$$

$$= 5,78 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

Menghitung Laju Perpindahan Panas

$$= \dot{m} \times C_{p_{nf}} \times \Delta T$$

$$= 0,02 \times 3921,420(60 - 43)$$

$$= 1325,262 \text{ J/s}$$

Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

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

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} 3,14 \cdot 0,0085^2$$

$$= 5,67 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{1,9 \times 10^{-5}}{5,67 \times 10^{-5}}$$

$$= 0,3351 \text{ m/s}$$

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

$$= 1043,68276 \cdot 5,67 \times 10^{-5} \cdot 0,3351$$

$$= 0,02 \text{ kg/s}$$

2. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$A = n \pi D L$$

$$= 16,314 \cdot 0,0085 \cdot 4,93$$

$$= 2,105 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln[(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})]}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(60 - 45,3) - (43 - 28)}{\ln[(60 - 45,3) - (43 - 28)]} \\
 &= \frac{(14,7) - (15)}{\ln[(14,7) - (15)]} \\
 &= 14,85 \text{ K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{Q}{A \cdot \Delta T_{lm}} \\
 &= \frac{1325,262}{2,105 \cdot 14,85} \\
 &= 48,14 \text{ W/m}^2\text{K}
 \end{aligned}$$

3. Bilangan Reynolds (Re)

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho_{nf} v D}{\mu_{nf}} \\
 &= \frac{1043,68276 \cdot 0,3351 \cdot 0,0085}{5,78 \times 10^{-4}} \\
 &= 5154,5753
 \end{aligned}$$

4. Bilangan Prandtl (Pr)

$$\begin{aligned}
 Pr &= \frac{C_{p,nf} \mu_{nf}}{k_{nf}} \\
 &= \frac{3921,423 \times 5,78 \times 10^{-4}}{0,6876} \\
 &= 3,3
 \end{aligned}$$

5. Bilangan Nusselt (Nu)

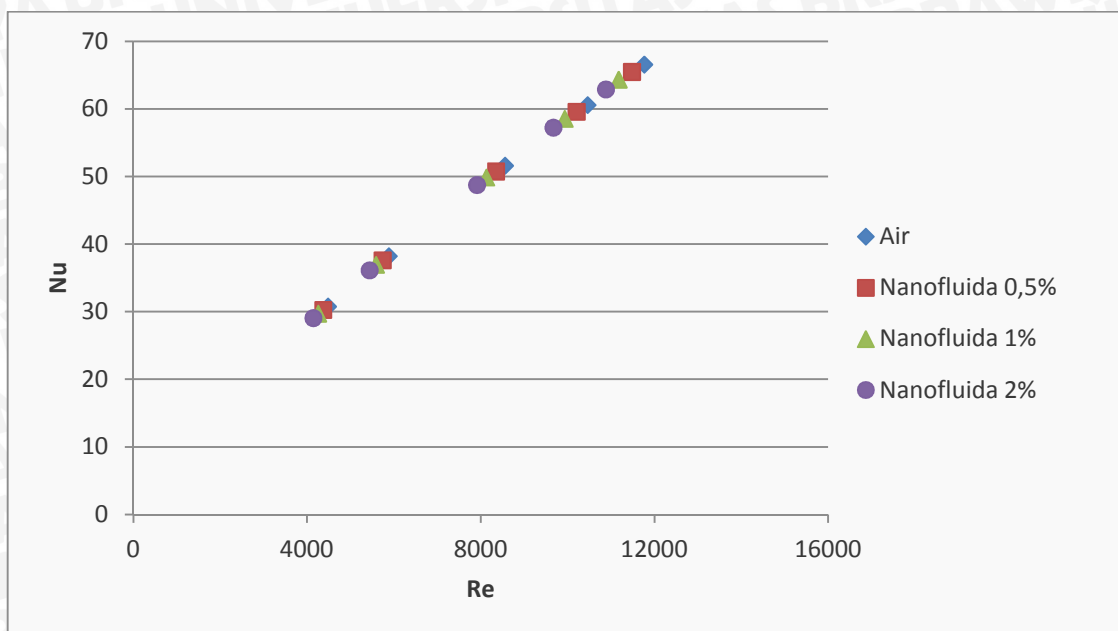
$$\begin{aligned}
 Nu &= 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \\
 &= 0,023 \times 5154,5753^{0,8} \times 3,3^{0,3} \\
 &= 31,8
 \end{aligned}$$

Menghitung Pressure Drop

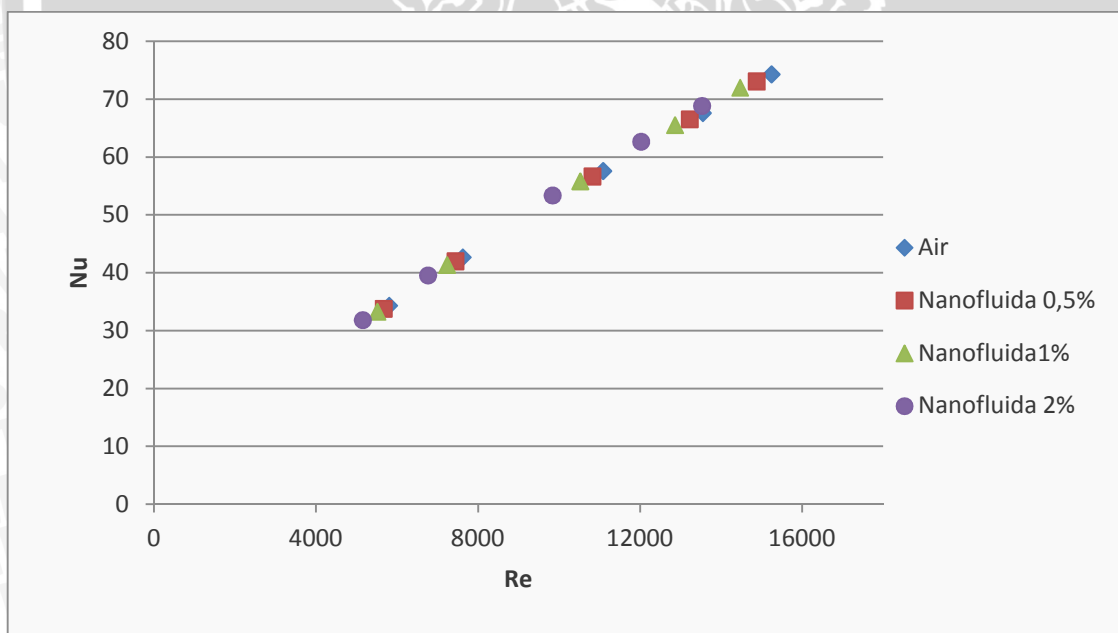
$$\begin{aligned}
 \Delta P &= \rho \cdot g \cdot \Delta z + f \frac{\rho \cdot L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \\
 &= 13,6 \cdot 10 \cdot 0,01 + 0,03 \frac{1043,68276 \cdot 4,93 \cdot 0,35584}{0,0085 \cdot 2 \cdot 10} \\
 &= 1,36 + 102,4128 \\
 &= 103,7728 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan Grafik

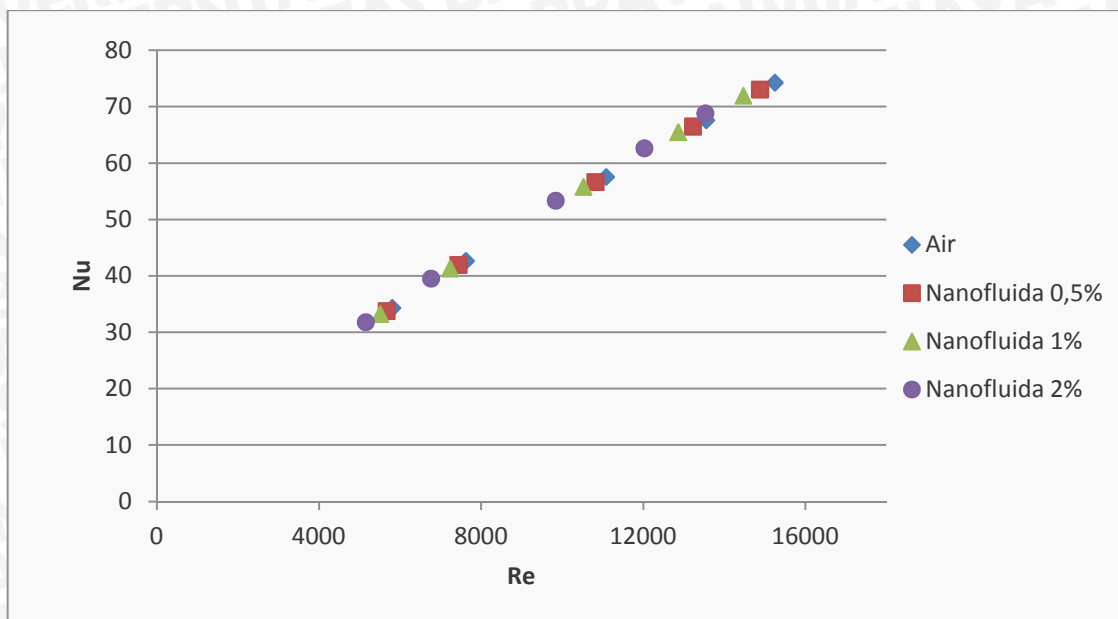
4.2.1 Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Terhadap Bilangan Nusselt



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



Gambar 4.2 Grafik hubungan bilangan Reynolds terhadap bilangan Nusselt pada temperatur masuk 50°C



Gambar 4.3 Grafik hubungan bilangan Reynolds terhadap bilangan Nusselt pada temperatur masuk 60°C

Dari gambar 4.1, gambar 4.2 dan gambar 4.3 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 di dalam tabung radiator sehingga perpindahan panas konveksinya semakin besar. Besarnya nilai bilangan Reynolds juga mengakibatkan perpindahan panas konduksi pada dinding tabung radiator semakin kecil. Hal ini sesuai dengan rumus:

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

Dengan jenis fluida kerja yang berbeda, terdapat nilai bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt pada temperatur masuk 40, 50, dan 60°C dari yang paling rendah hingga yang paling tinggi berturut-turut adalah fluida kerja nanofluida 2%, nanofluida 1%, nanofluida 0,5%, dan air. Pada suhu yang sama, penurunan bilangan Reynolds terhadap air sekitar 2% dan peningkatan bilangan Prandtl sekitar 0,9-6%.

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

$$Nu = 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.3}; Pr = \frac{c_{p_{nf}} \cdot \mu}{k}$$

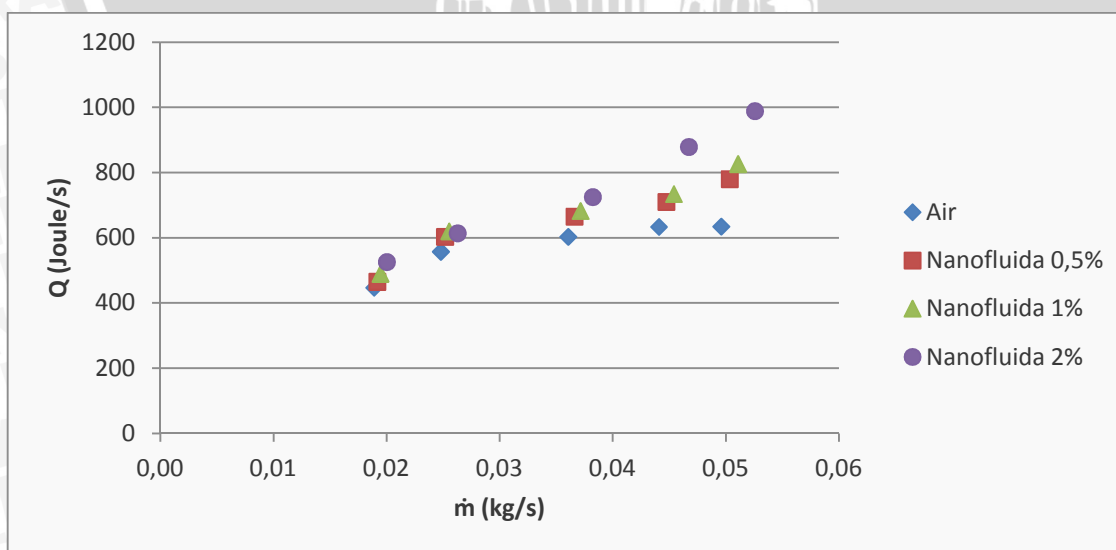
Pada rumus di atas dengan menambahkan nanopartikel mengakibatkan penurunan bilangan Reynolds yang tidak diimbangi oleh peningkatan bilangan Prandtl, sehingga

bilangan Nusselt menurun dikarenakan dengan penambahan nanopartikel akan meningkatkan viskositas nanofluida.

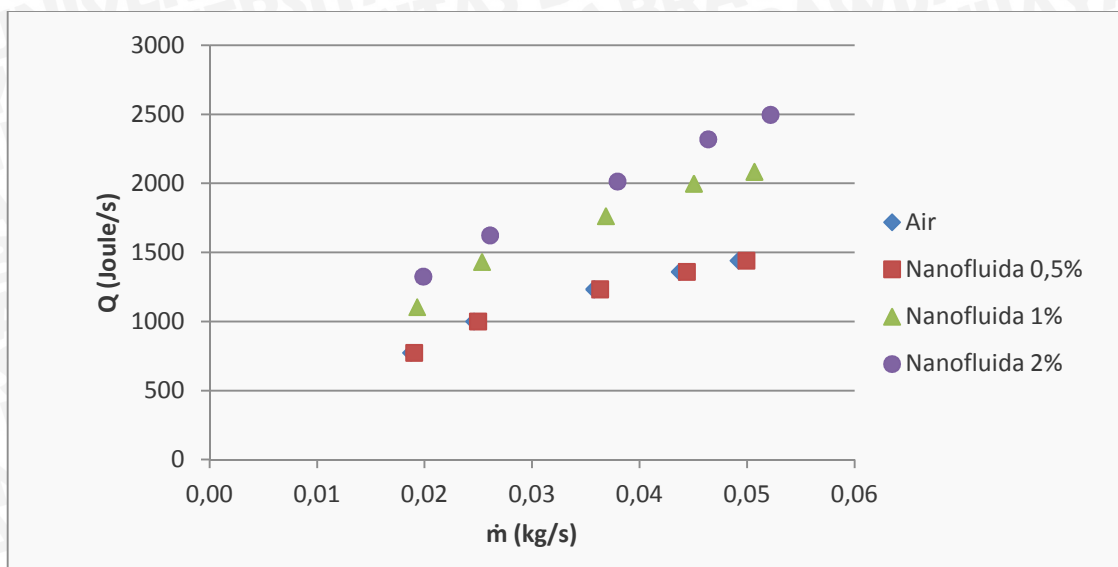
Dan jika dianalisa pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar prosentase massa nanopartikel maka nilai koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam tabung radiator cenderung tidak mengalami perubahan untuk setiap temperatur. Hal ini ditunjukkan dengan nilai bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt 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.

Dari grafik juga dapat dilihat pada temperatur kerja yang berbeda terjadi peningkatan bilangan Nusselt seiring dengan peningkatan bilangan Reynolds. Hal ini diakibatkan oleh ketergantungan fluida kerja pada pengaruh temperatur terhadap viskositas. Viskositas fluida kerja akan menurun dengan peningkatan temperatur yang menyebabkan kecepatan aliran fluida meningkat. Dengan meningkatnya kecepatan, akan meningkatkan bilangan Reynolds sehingga bilangan Nusselnya juga semakin besar.

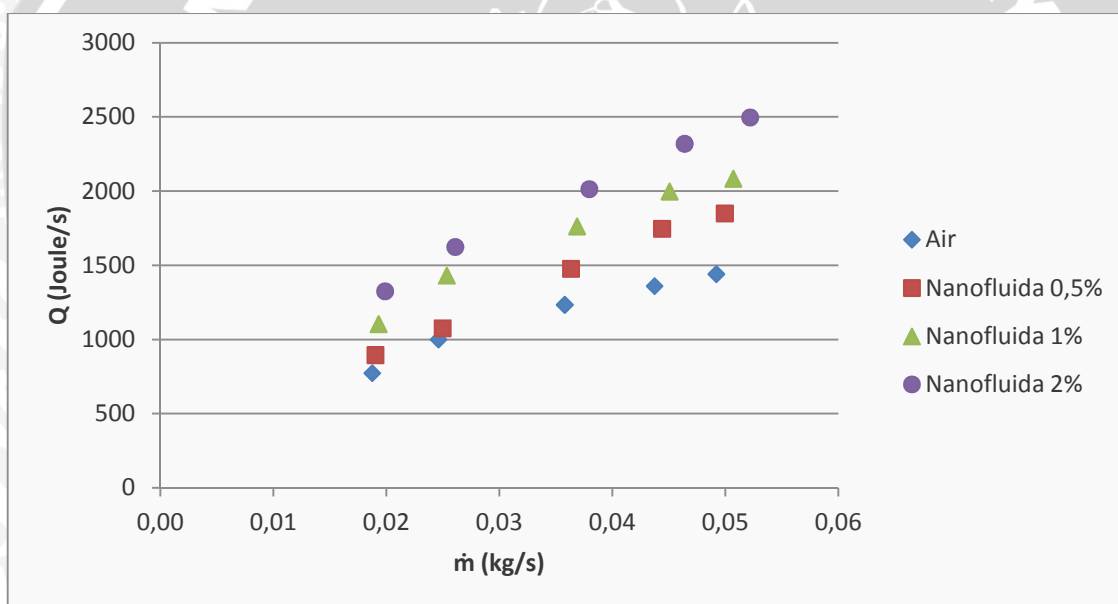
4.2.2 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Laju Perpindahan Kalor



Gambar 4.4 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap laju perpindahan kalor pada temperatur masuk 40°C



Gambar 4.5 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap laju perpindahan kalor pada temperatur masuk 50°C



Gambar 4.6 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap laju perpindahan kalor pada temperatur masuk 60°C

Pada gambar 4.4, gambar 4.5, dan gambar 4.6 grafik pengaruh laju alir massa terhadap laju perpindahan kalor dapat diketahui kecenderungan grafik laju perpindahan kalor mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya laju alir massa dan temperatur masuk fluida kerja. Perbedaan jenis fluida kerja yang digunakan mempengaruhi nilai dari laju perpindahan kalor yang dihasilkan pada temperatur fluida kerja yang sama. 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.

Pada debit fluida yang sama menghasilkan massa jenis yang berbeda pada setiap temperatur. Adanya perbedaan massa jenis akan mempengaruhi besarnya laju alir massa.

Hal ini sesuai dengan rumus:

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

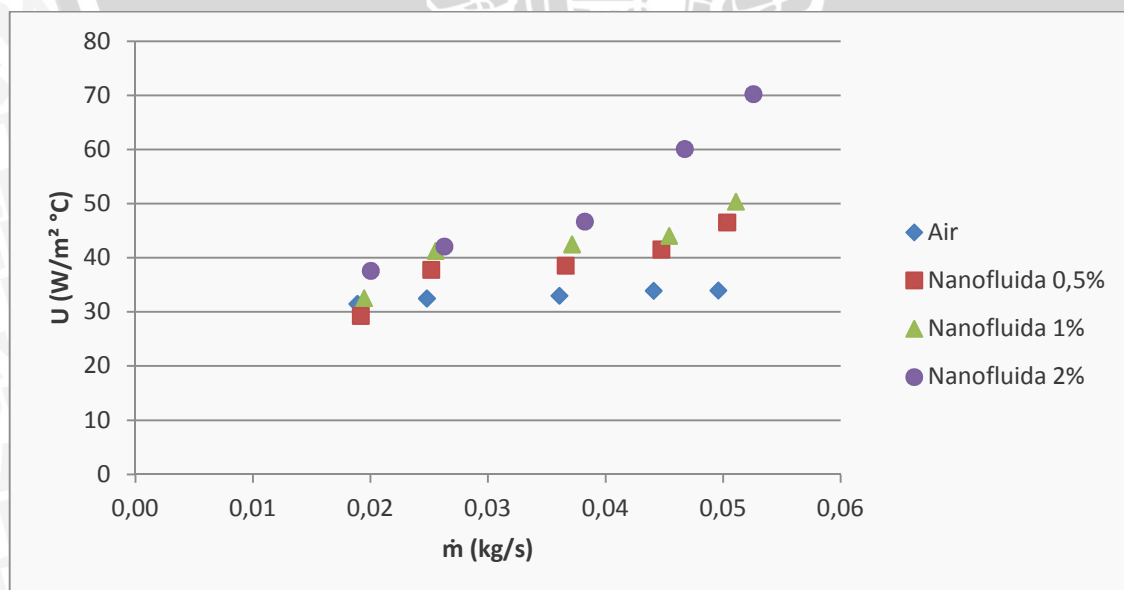
Dengan adanya laju alir massa yang berbeda dari masing-masing fluida kerja akan mempengaruhi kemampuan dalam hal transfer kalor, sehingga semakin besar transfer kalor yang terjadi akan meningkatkan selisih temperatur pada fluida panas karena akan semakin banyak molekul-molekul yang berinteraksi dan terjadinya pertukaran kalor antar kedua fluida tersebut.

Hal ini sesuai teori yang menunjukkan adanya hubungan pada rumus:

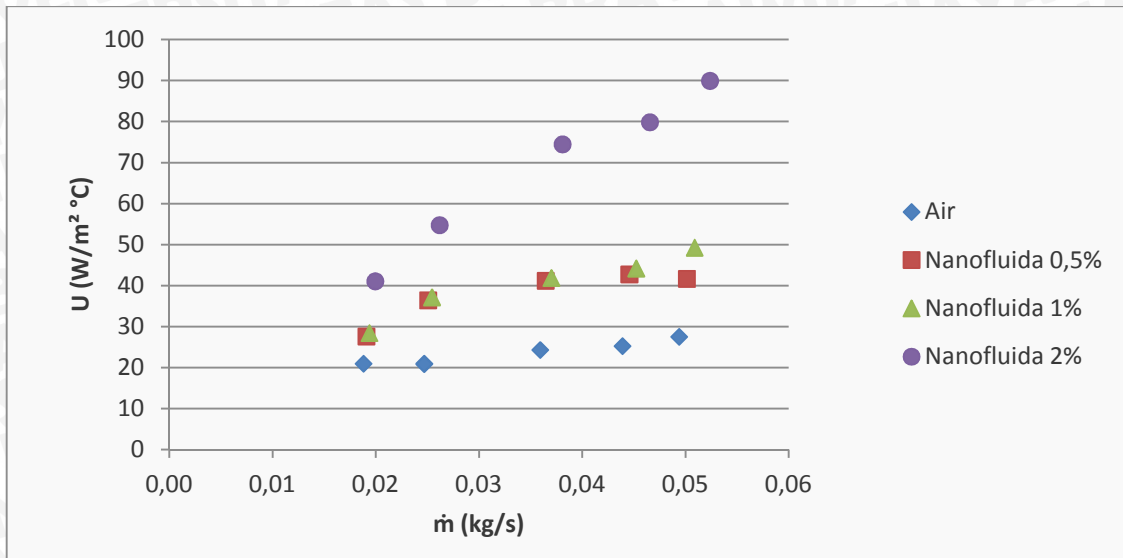
$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

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.

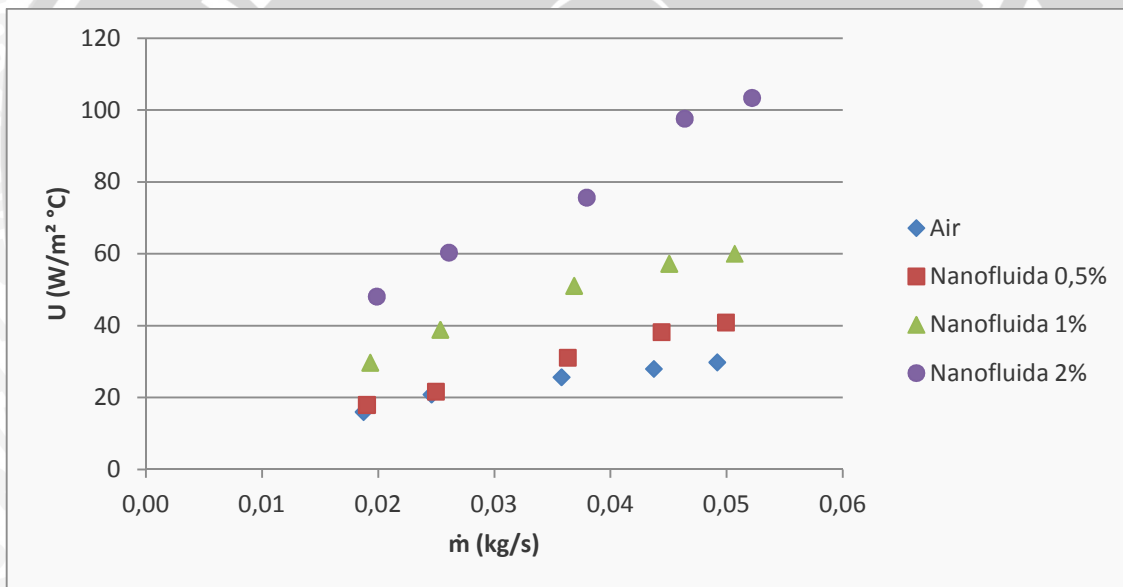
4.2.3 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh



Gambar 4.7 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh pada temperatur masuk 40°C



Gambar 4.8 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh pada temperatur masuk 50°C



Gambar 4.9 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh pada temperatur masuk 60°C

Pada gambar 4.7, gambar 4.8, dan gambar 4.9 menunjukkan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang meningkat seiring dengan peningkatan laju alir massa. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari yang terendah adalah air, nanofluida 0,5%, nanofluida 1%, dan nanofluida 2%. Hasil yang diperoleh menunjukkan fluida kerja nanofluida mengalami peningkatan dalam koefisien perpindahan kalor menyeluruh dibandingkan dengan fluida dasarnya sebesar 10-26 % untuk prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 0,5%, 20-50% untuk prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 1% dan 38-75% prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 2%. Rasio peningkatan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dari

nanofluida juga meningkat seiring dengan peningkatan temperatur (40, 50, dan 60°C). 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:

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

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.

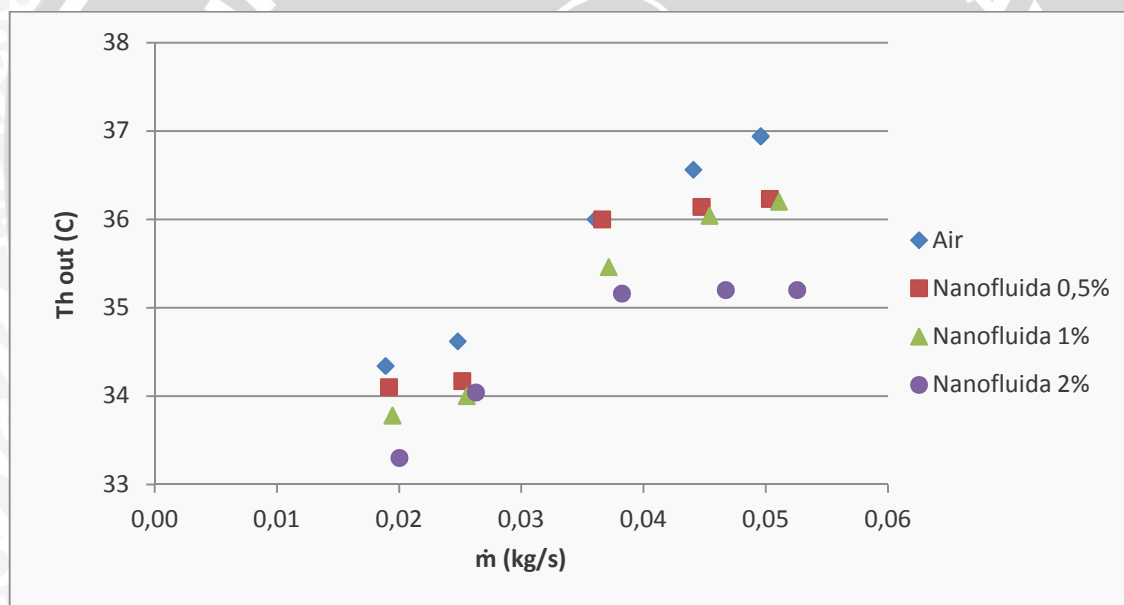
Suatu permodelan yang komprehensif telah diusulkan untuk menjelaskan peningkatan konduktivitas termal di dalam nanofluida dan ketergantungannya akan temperatur. Adapun model yang diusulkan tersebut adalah model partikel diam (*stationary particle model*), yang menjelaskan ketergantungan nilai k pada 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.

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

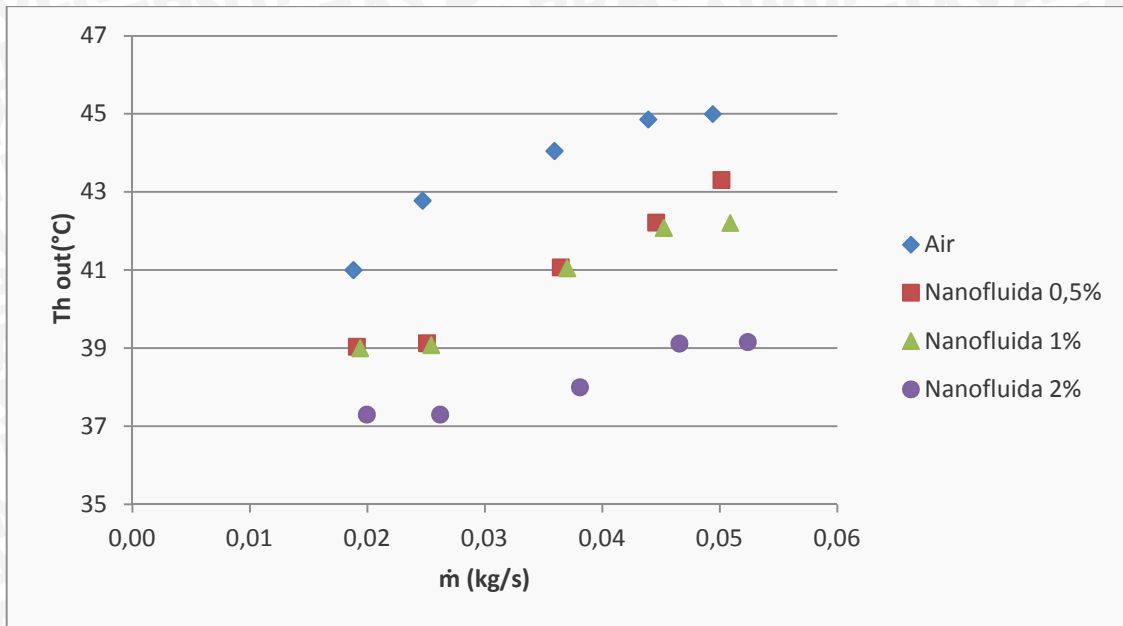
Dari persamaan tersebut dijelaskan bahwa kecepatan partikel tergantung pada faktor T/μ , dan μ adalah viskositas dinamik dari medium fluida dan T adalah temperatur. Dan gerak Brownian dari nanopartikel juga tergantung pada faktor T/μ . Karena viskositas nanofluida menurun dengan peningkatan temperatur, 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 (*stationary particle model*), 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 massan partikel (untuk $\phi \ll 1$) dan berbanding terbalik dengan radius nano 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.

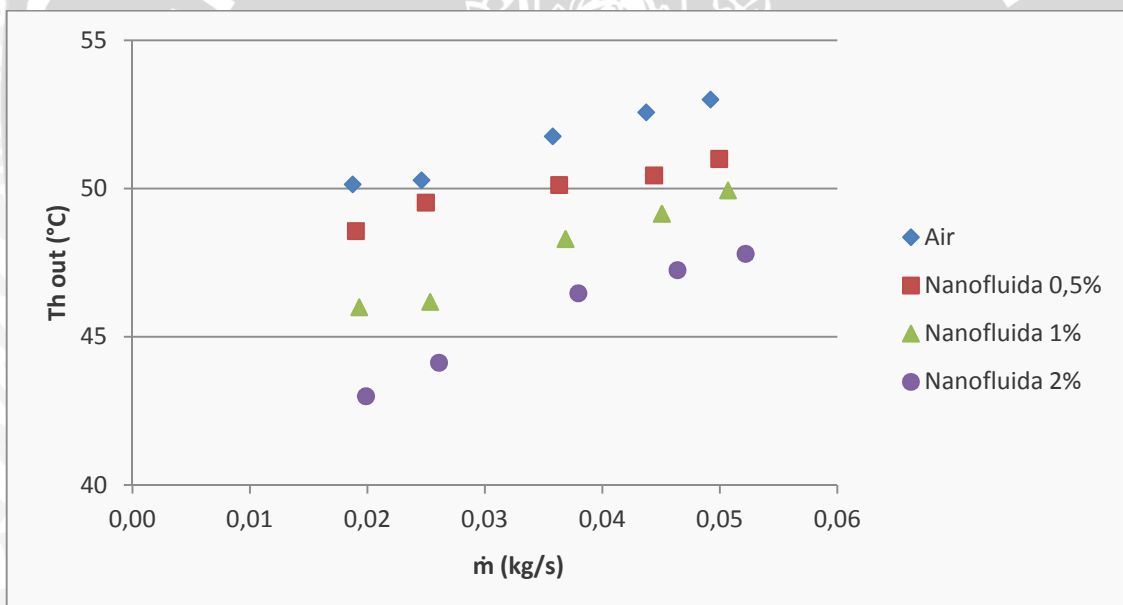
4.2.4 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Temperatur Keluar Radiator



Gambar 4.10 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap temperatur keluar pada temperatur masuk 40°C



Gambar 4.11 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap temperatur keluar pada temperatur masuk 50°C

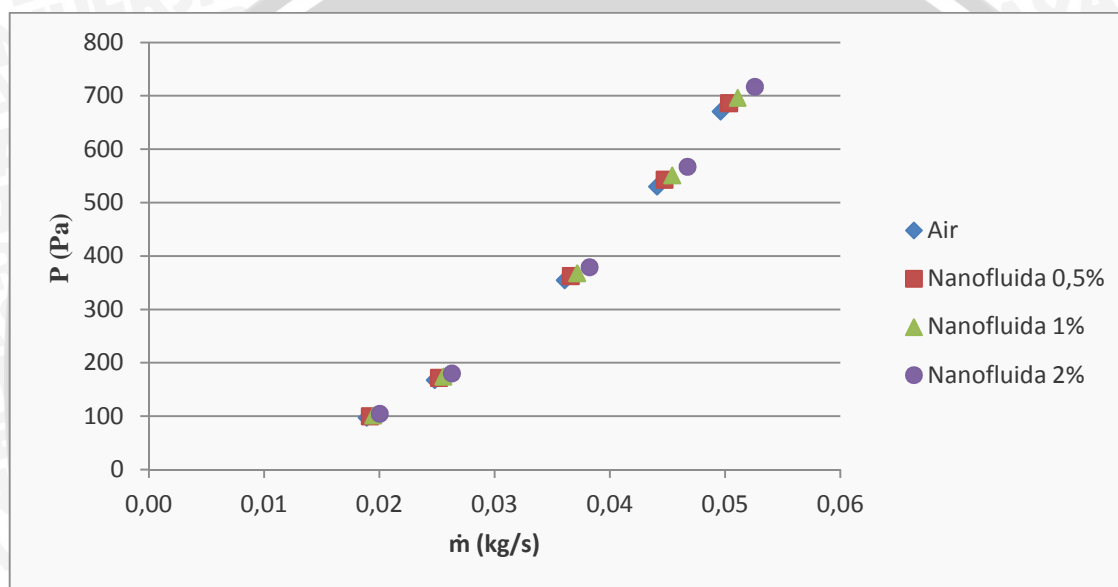


Gambar 4.12 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap temperatur keluar pada temperatur masuk 60°C

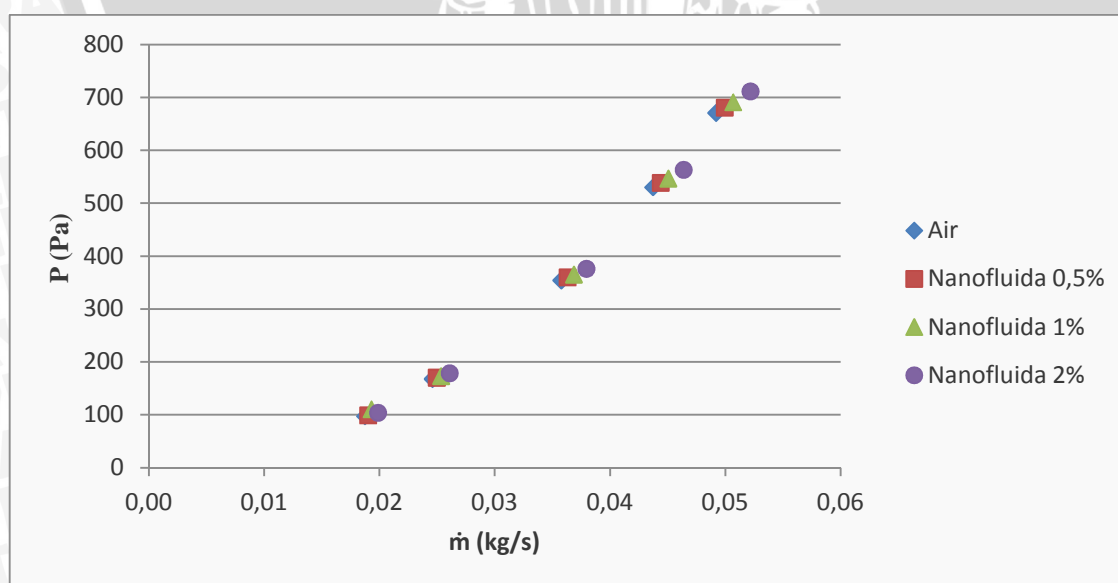
Pada gambar 4.10, gambar 4.11, dan gambar 4.12 terlihat penurunan temperatur keluar radiator terhadap laju alir massa untuk tiap fluida kerja yang digunakan dengan temperatur kerja yang berbeda. Dari grafik dapat dilihat bahwa penggunaan nanofluida menghasilkan temperatur yang lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan air. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan kemampuan fluida kerja nanofluida menghantarkan kalor yang lebih baik. Penelitian ini menunjukkan karakteristik yang sama dengan penelitian Das (2003) yang meneliti hubungan konduktivitas termal nanofluida

dengan menggunakan temperatur kerja yang berbeda. Hasil penelitian ini menghasilkan teori bahwa konduktivitas termal nanofluida sebagai fungsi temperatur, $k=f(T)$. Semakin tinggi temperatur kerja yang digunakan maka konduktivitas termal nanofluida juga akan meningkat. Penelitian-penelitian sebelumnya juga meyakini peningkatan konduktivitas termal fluida kerja nanofluida dikarenakan gerak Brownian dari nanopartikel akan semakin cepat dengan bertambahnya temperatur mengakibatkan semakin sering terjadi tumbukan sehingga pendinginan juga akan semakin cepat.

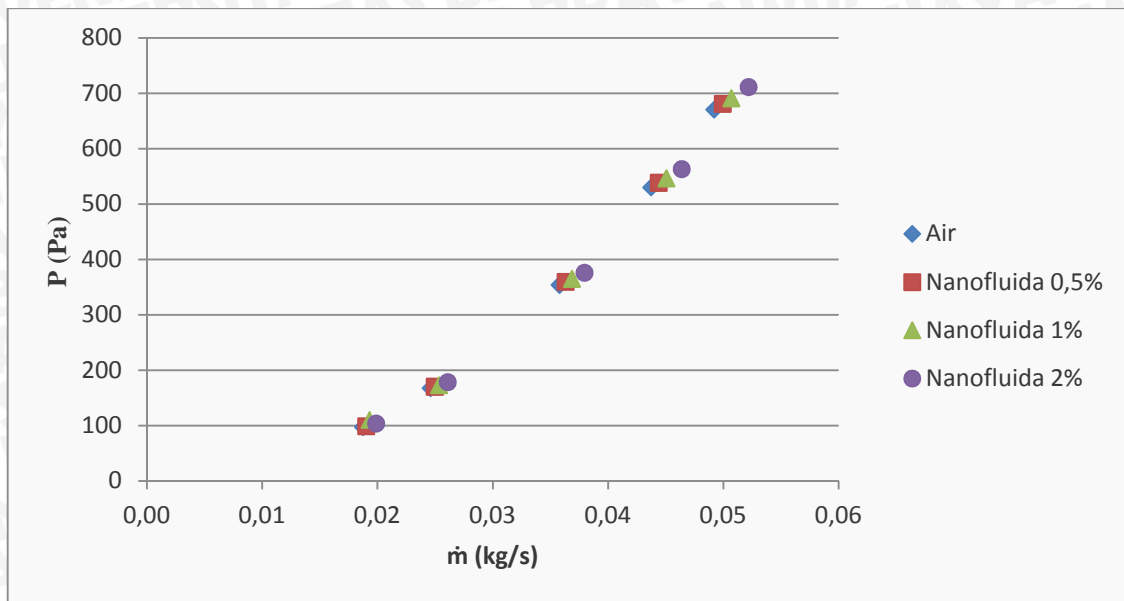
4.2.5 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap *Pressure Drop*



Gambar 4.13 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap *pressure drop* pada temperatur masuk 40°C



Gambar 4.14 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap *pressure drop* pada temperatur masuk 50°C



Gambar 4.15 Grafik pengaruh laju alir massa terhadap *pressure drop* pada temperatur masuk 60°C

Dari gambar 4.13, gambar 4.14, dan gambar 4.15 dapat terlihat bahwa variasi laju alir massa cenderung tidak berpengaruh terhadap nilai penurunan tekanan pada masing-masing fluida kerja. Hal ini dikarenakan pada semakin meningkatnya temperatur dari fluida panas yang digunakan maka massa jenis dari fluida panas akan semakin berkurang. Dengan massa jenis yang semakin berkurang, laju alir massa yang terjadi juga akan semakin berkurang, sehingga akan berdampak pada kecepatan aliran fluida panas yang terjadi. Hal ini sesuai pada rumus hubungan antara laju alir massa, massa jenis, luas penampang pipa dan kecepatan aliran.

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A}$$

Terdapat hubungan antara laju alir massa, massa jenis, dan luas penampang pipa yang dianggap konstan. Dengan semakin berkurangnya laju alir massa dan berkurangnya massa jenis dari fluida panas, maka kecepatan aliran yang terjadi juga akan semakin kecil. Semakin kecil kecepatan aliran, maka *major losses* yang terjadi akan semakin sedikit pula. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$h_{mc} = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Dengan nilai koefisien gesek, panjang pipa, diameter dan nilai gravitasi yang konstan maka yang mempengaruhi dari besar *major losses* adalah kuadrat dari kecepatan dari fluida panas yang digunakan. Semakin kecil kecepatan aliran yang terjadi maka mayor

losses yang terjadi juga akan semakin kecil, sehingga penurunan tekanan yang terjadi juga akan semakin berkurang.

