

BAB IV

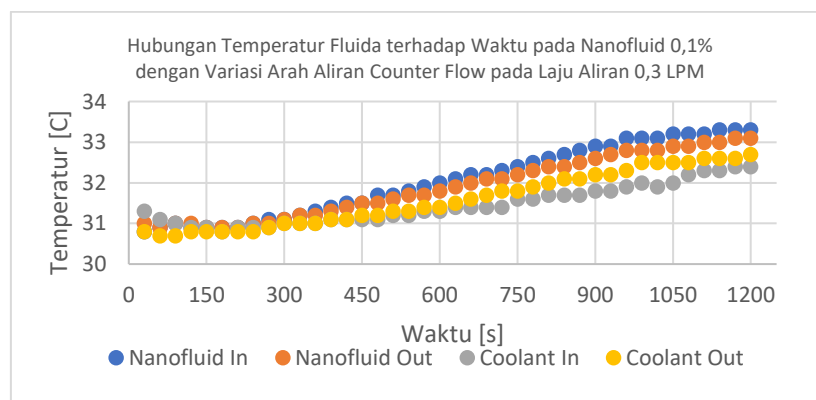
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengambilan Data

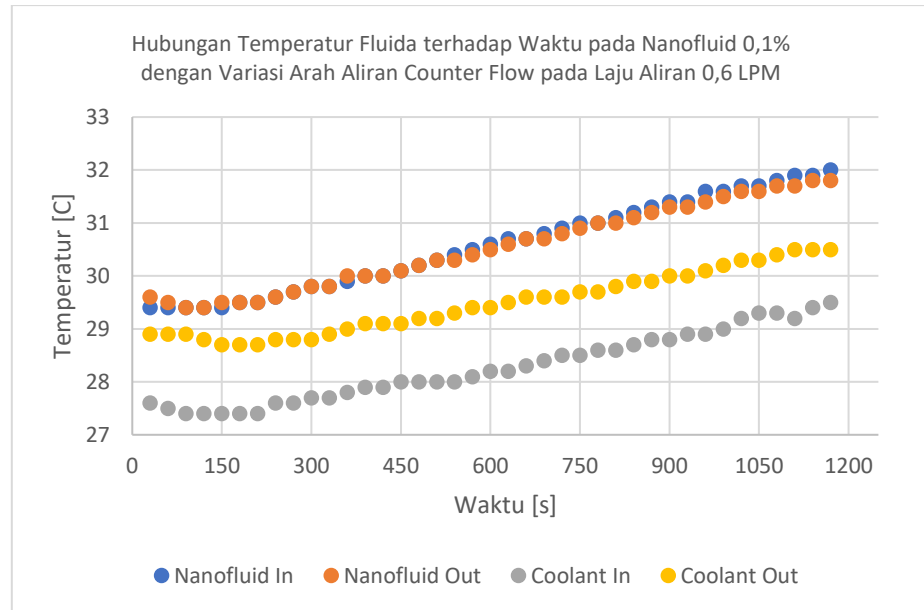
Pengumpulan data ini dilakukan secara langsung dengan melakukan eksperimen pada *double pipe heat exchanger*. Adapun prinsip kerja dari alat uji ini yaitu nanofluid yang ada di dalam tangki penampungan dialirkan dengan pompa menuju *wavy channel* dimana *wavy channel* tersebut mengapit baterai yang dalam keadaan panas. Nanofluid yang dialirkan menuju *wavy channel* akan menyerap panas dari baterai. Nanofluid yang sudah panas dialirkan ke *inner pipe heat exchanger*. Bersamaan dengan dialirkannya nanofluid menuju *inner pipe heat exchanger*. Dengan bantuan pompa, coolant juga dialirkan dari tangki penampungan menuju *anulus* yang berfungsi untuk menyerap panas dari nanofluid. Untuk mengetahui suhu yang masuk dan keluar baik dari *anulus* maupun dari *inner pipe* digunakan termokopel digital, untuk mengetahui laju aliran yang masuk digunakan rotameter, sehingga akan didapatkan data-data yang diperlukan.

4.1.1 Grafik Data Pengujian

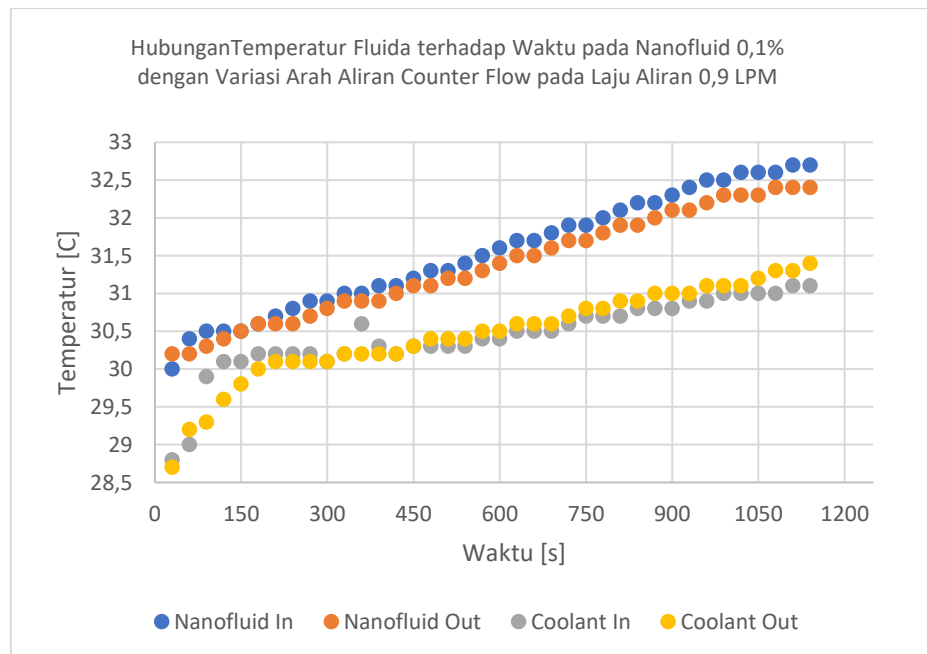
Berikut adalah grafik hasil pengambilan data pada setiap konsentrasi nanofluid.



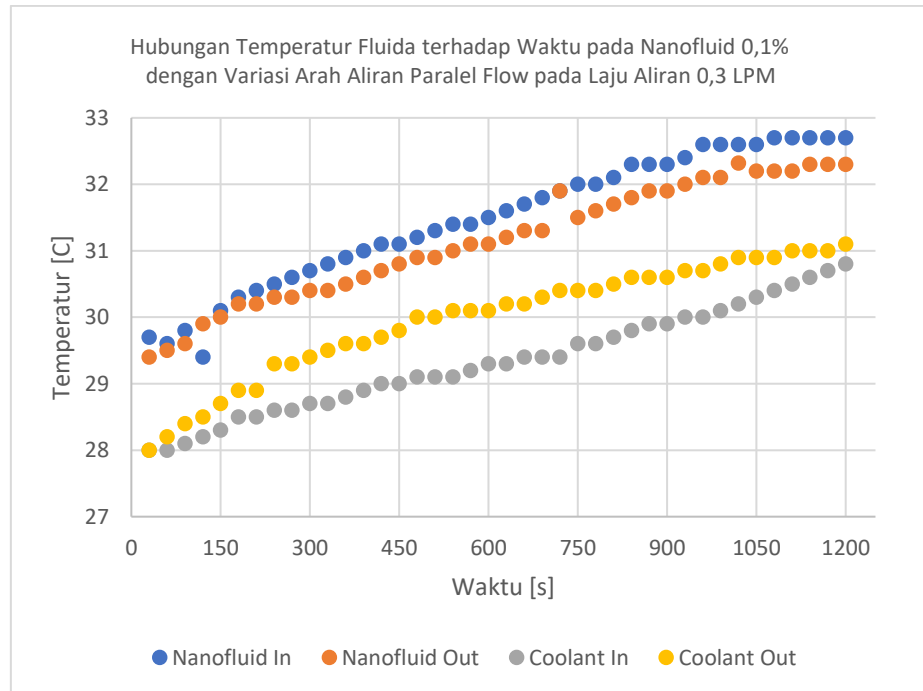
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,3 LPM



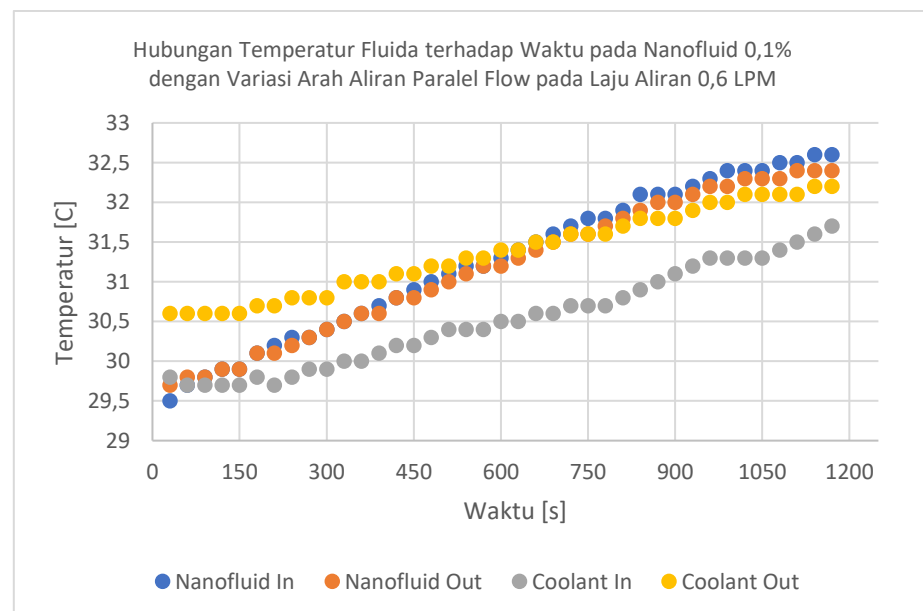
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,6 LPM



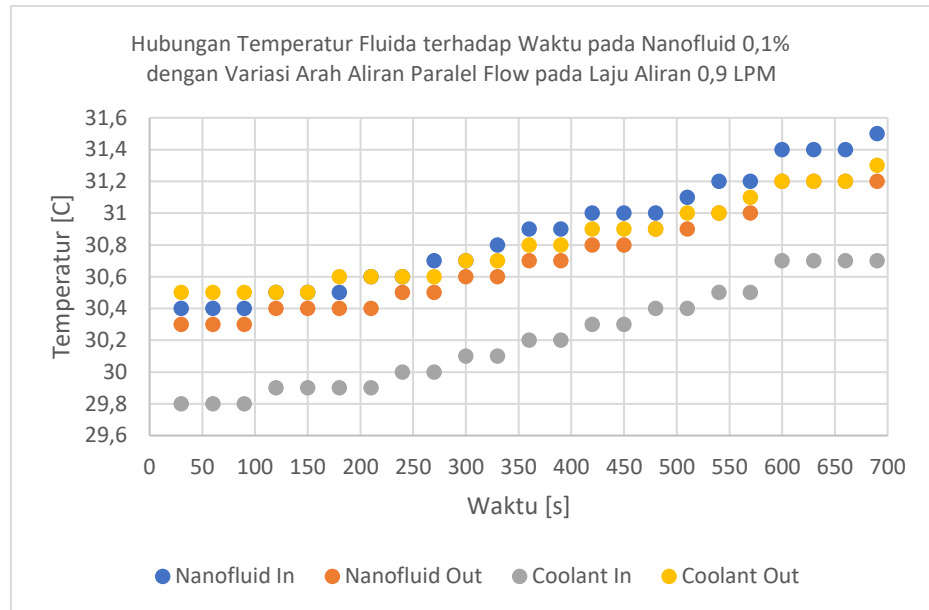
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,9 LPM



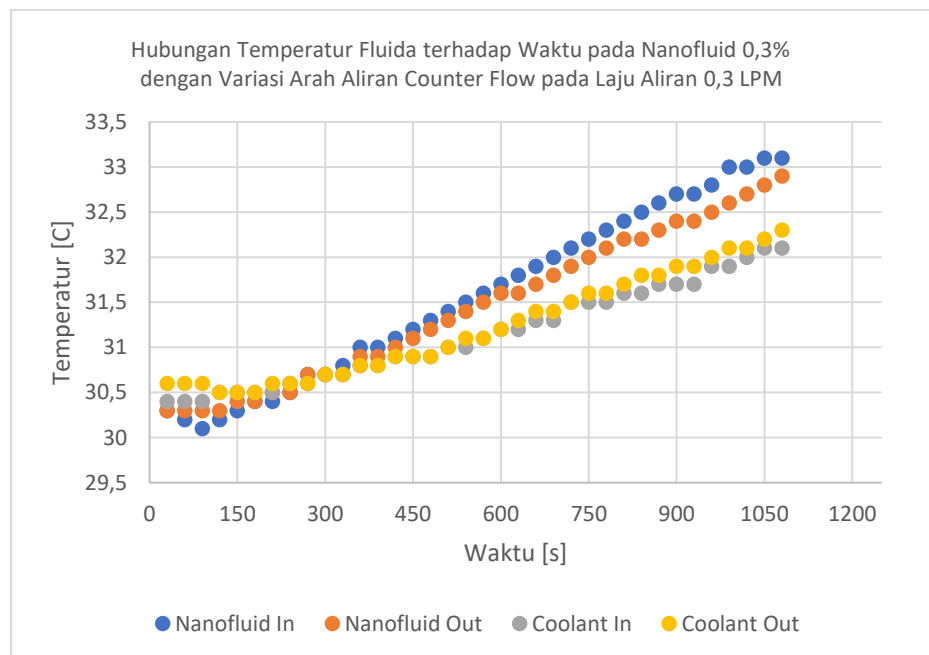
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *paralel flow* pada laju aliran 0,3 LPM



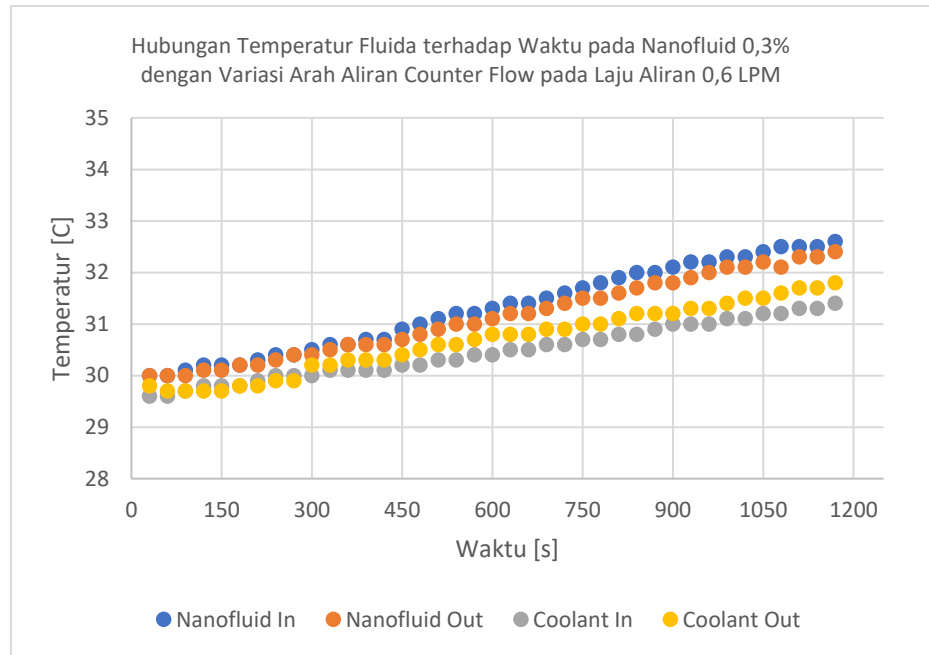
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *paralel flow* pada laju aliran 0,6 LPM



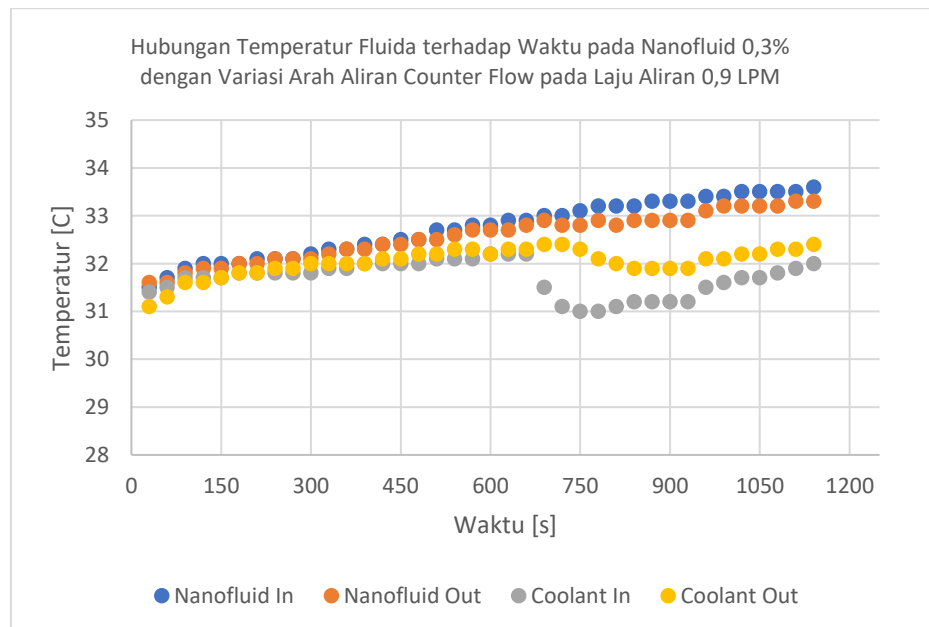
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,9 LPM



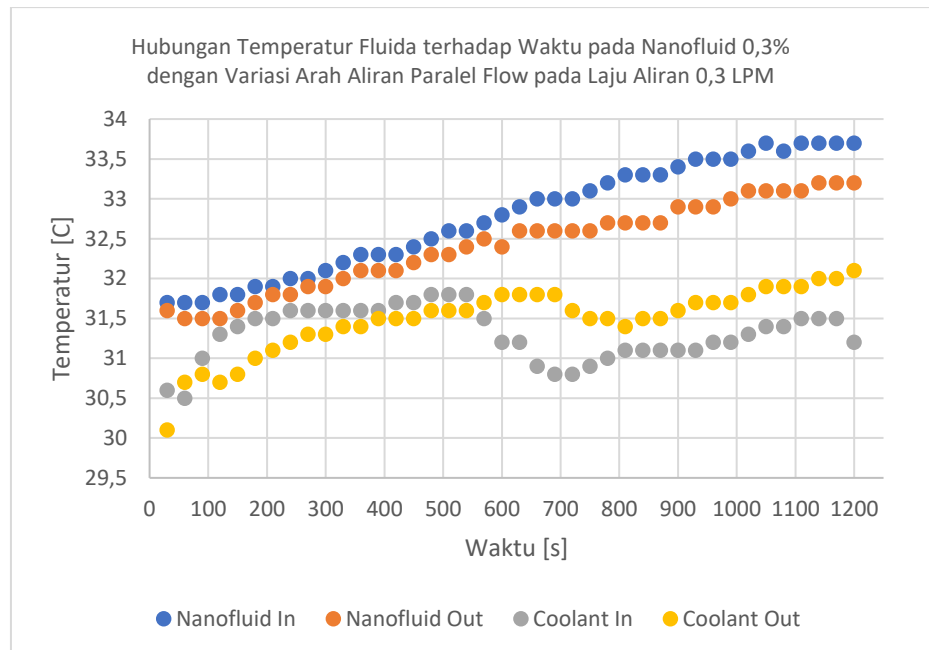
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,3 LPM



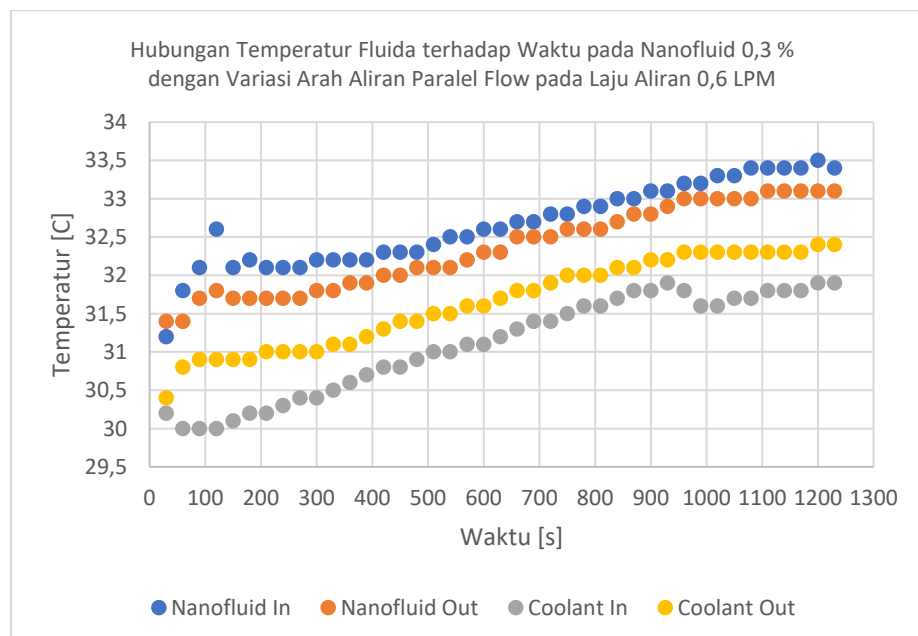
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,6 LPM



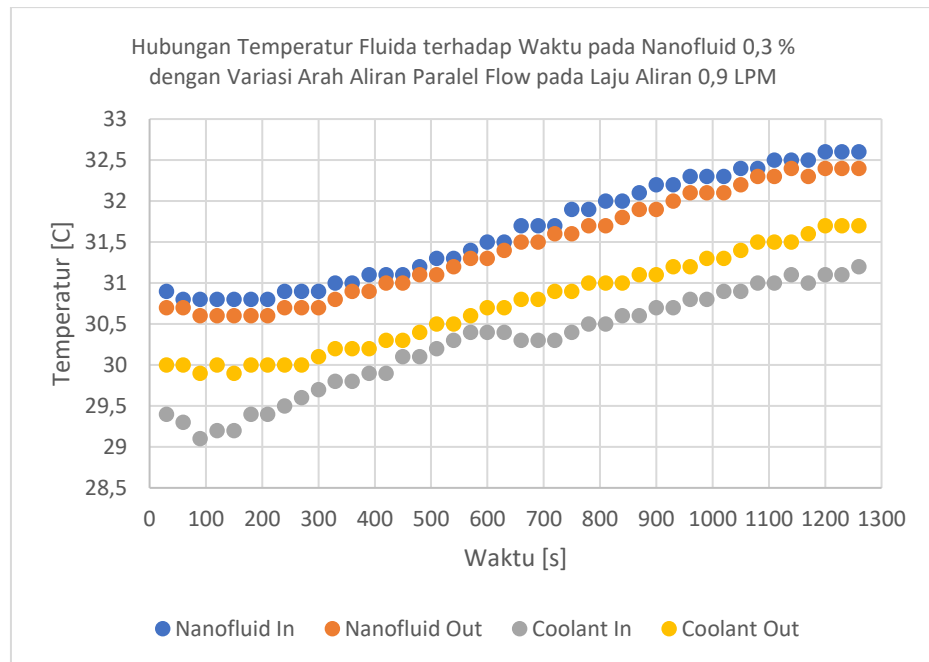
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,9 LPM



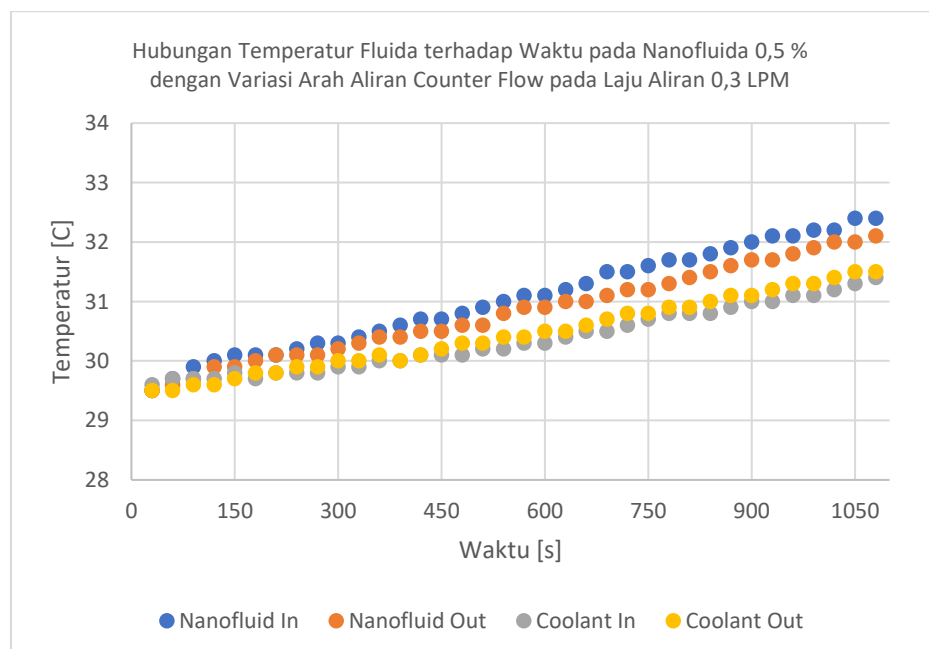
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,3 LPM



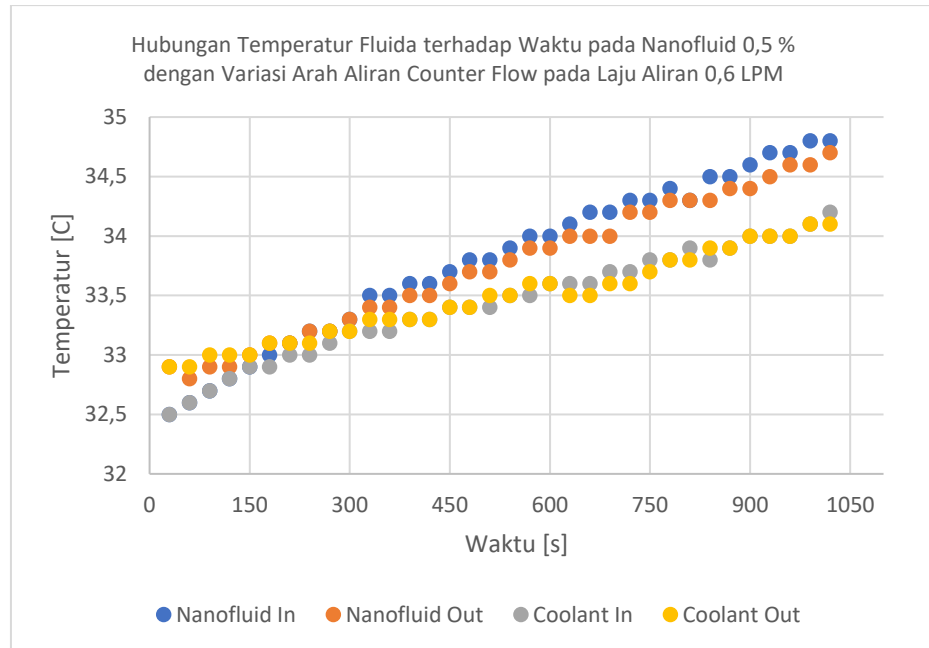
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,6 LPM



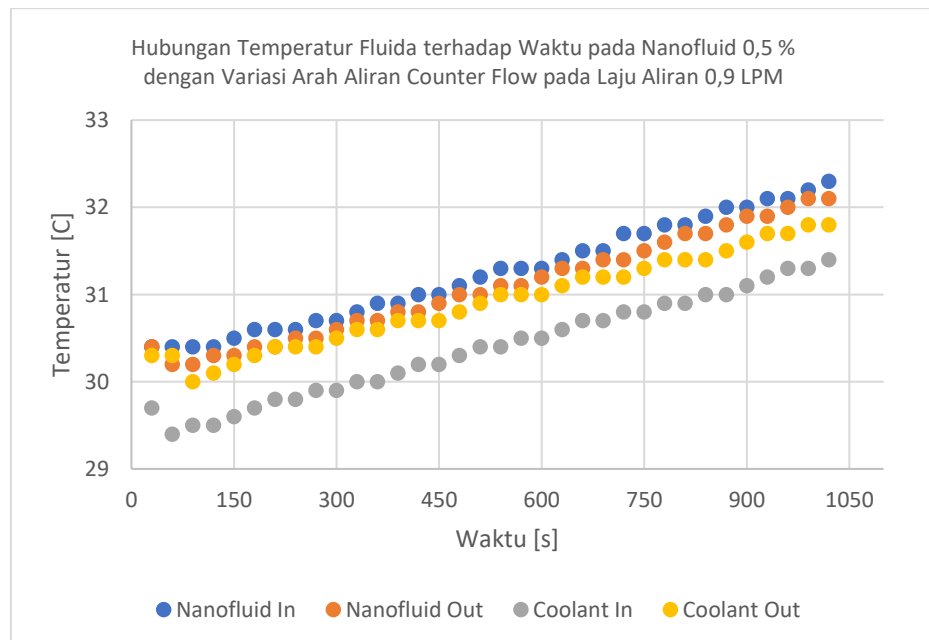
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,9 LPM



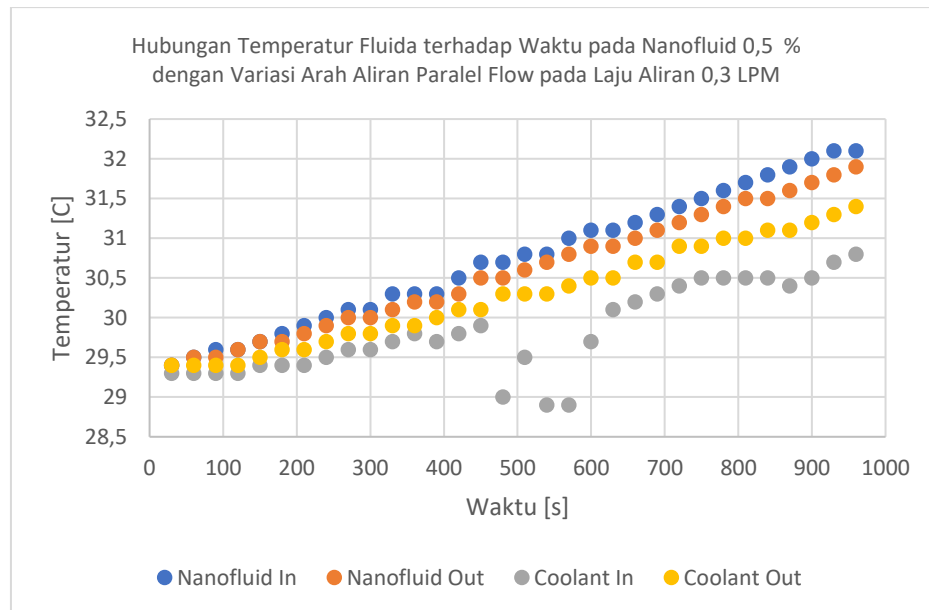
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,3 LPM



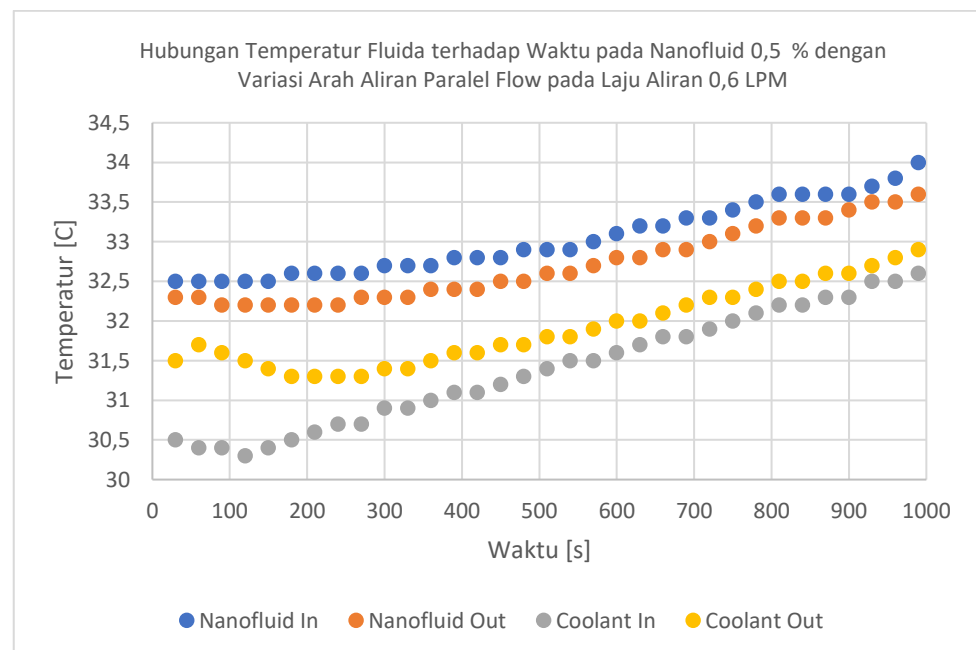
Gambar 4. 14 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,6 LPM



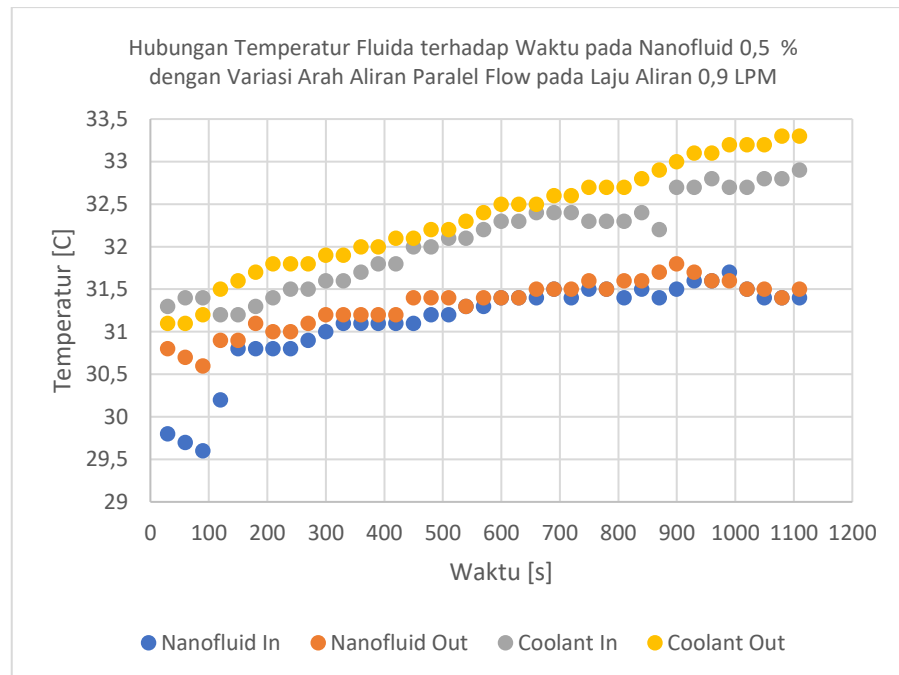
Gambar 4. 15 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,9 LPM



Gambar 4. 16 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,3 LPM



Gambar 4. 17 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,6 LPM



Gambar 4. 18 Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,9 LPM

Pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.18 konsisten menunjukkan bahwa nilai temperatur masukan nanofluid lebih rendah dibanding nilai keluaran nanofluid, begitu juga dengan nilai keluaran coolant lebih tinggi dibanding nilai temperature masukan coolant. Hal ini memberikan informasi bahwa *double pipe heat exchanger* berfungsi dengan baik karena mampu melakukan pendinginan pada nanofluid.

4.1.2 Tabel Data Pengujian

Data pada tabel 4.1 dibawah merupakan hasil rata-rata dari pengambilan data pada setiap konsentrasi nanofluid, Adapun parameter pengambilan data adalah suhu masuk dan suhu keluar dari setiap fluida. Berikut merupakan hasil rata-rata dari setiap data pengujian.

Tabel 4. 1 Hasil pengambilan data

Nanofluid 0,1%						
	Counter Flow			Paralel Flow		
	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
Nanofluid In (K)	306,45	305,05	305,85	305,85	305,55	305,15
Nanofluid Out (K)	306,25	304,95	305,55	305,45	305,45	304,95
Coolant In (K)	305,55	303,75	304,25	303,85	304,75	304,15
Coolant Out (K)	305,75	304,35	304,55	304,15	304,95	304,25
Nanofluid 0,3%						
	Counter Flow			Paralel Flow		
	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
Nanofluid In (K)	306,25	305,65	306,75	306,85	306,55	305,75
Nanofluid Out (K)	305,95	305,45	306,45	306,25	306,25	305,55
Coolant In (K)	305,25	304,45	305,15	305,05	305,35	304,65
Coolant Out (K)	305,35	304,85	305,55	304,55	305,05	304,35
Nanofluid 0,5 %						
	Counter Flow			Paralel Flow		
	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
Nanofluid In (K)	305,15	307,95	305,45	305,25	306,75	306,15
Nanofluid Out (K)	304,85	307,65	305,25	305,05	306,55	306,05
Coolant In (K)	304,45	307,25	304,55	303,85	305,85	305,55
Coolant Out (K)	304,65	307,35	304,95	304,45	305,75	305,65

4.2 Perhitungan untuk Larutan Nanofluid Konsentrasi 0,1%

Dalam perhitungan data, luas area permukaan untuk *double pipe heat exchanger* selalu sama. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan luas permukaan perpindahan panas pada *double pipe heat exchanger*. Berikut adalah perhitungan untuk luas permukaan perpindahan panas.

Tabel 4. 2 Data *Double Pipe Heat Exchanger*

Data	Diameter Luar (mm)	Diameter Dalam (mm)	m
Diameter Anulus	48	44,61	0,048
Diameter Sambungan Anulus	22	18,31	0,022
Panjang Anulus	400		0,4
Panjang Sambungan Anulus	50		0,05

a. Perhitungan untuk Anulus

$$L = 2 \cdot \pi r \cdot t$$

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot 22,31 \cdot 0,4 = 0,1681 \text{ m}^2$$

b. Perhitungan untuk Sambungan Anulus

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t$$

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot 9,16 \cdot 0,05 = 0,0115 \text{ m}^2$$

Maka total luas permukaan double pipe heat exchanger adalah $0,1796 \text{ m}^2$.

4.2.1 Variasi Arah Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

Untuk variasi arah aliran *counter flow*, terdapat 3 variasi laju aliran yaitu, 0,3 LPM, 0,6 LPM. 0,9 LPM.

a. 0,3 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 3 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	306,45 K
Nanofluid out (t_2)	306,25 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,2 K
Coolant in (T_1)	305,55 K

Coolant Out (T_2)	305,75 K
Rata-rata Coolant (ΔT_c)	0,2 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	0,7 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	0,7 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2400 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,216 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h$$

$$= 0,0053 \cdot 2400 \cdot 0,2 = 2,53 \text{ W}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,2 = 2,37 \text{ W}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{2,57 + 2,37}{2} = 2,45 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{0,7 - 0,7}{\ln \left[\frac{0,7}{0,7} \right]} = 0,7 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{2,45}{0,1796 \times 0,7} = 19,46 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot C_{p_h} \\ &= 0,0053 \cdot 2400 = 12,63 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned} C_c &= m_c \cdot C_{p_c} \\ &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 19,46 \cdot 0,1796 \cdot 0,7 = 2,45 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min}(T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}}) \\ &= 11,84 (306,45 - 305,55) = 10,66 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\ &= \frac{2,45}{10,66} \times 100\% = 22,96\% \end{aligned}$$

b. 0,6 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 4 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,05 K
Nanofluid out (t_2)	304,95 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,1 K
Coolant in (T_1)	303,75 K
Coolant Out (T_2)	304,35 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,6 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	0,7 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	1,2 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2400 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,432 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\ &= 0,0105 \cdot 2400 \cdot 0,1 = 2,53 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,6 = 7,10 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{2,53 + 7,1}{2} = 4,82 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{1,2 - 0,7}{\ln \left[\frac{1,2}{0,7} \right]} = 0,9 \text{ K} \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{4,82}{0,1796 \times 0,9} = 28,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot Cp_h \\ &= 0,0105 \cdot 2400 = 25,26 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned} C_c &= m_c \cdot Cp_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 28,9 \cdot 0,1796 \cdot 0,9 = 4,82 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min} (Th_{inlet} - Tc_{inlet}) \\ &= 11,84 (305,05 - 303,75) = 15,39 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{4,83}{15,39} \times 100\% = 31,28 \%$$

c. 0,9 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4.5 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,85 K
Nanofluid out (t_2)	305,55 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,3 K
Coolant in (T_1)	304,25 K
Coolant Out (T_2)	304,55 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,3 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	1,3 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	1,3 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2400 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,648 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h$$

$$= 0,0158 \cdot 2400 \cdot 0,3 = 11,37 \text{ W}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,3 = 3,55 \text{ W}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{11,37 + 3,55}{2} = 7,46 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{1,3 - 1,3}{\ln \left[\frac{1,3}{1,3} \right]} = 1,3 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{7,46}{0,1796 \times 1,3} = 31,97 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan *Cmin*

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot C_p$$

$$= 0,0158 \cdot 2400 = 37,89 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot C_p$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka *Cmin* adalah C_c yaitu 11,84 W/K .

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 31,97 \cdot 0,1796 \cdot 1,3 = 7,46 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min}(Th_{inlet} - Tc_{inlet}) \\ &= 11,84 (305,85 - 304,25) = 18,95 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\ &= \frac{7,46}{18,95} \times 100\% = 39,38\% \end{aligned}$$

4.2.2 Variasi Arah Aliran Searah (*Paralel Flow*)

Untuk variasi arah aliran *paralel flow*, terdapat 3 variasi laju aliran yaitu, 0,3 LPM, 0,6 LPM, 0,9 LPM.

a. 0,3 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran searah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,85 K
Nanofluid out (t_2)	305,45 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,4 K
Coolant in (T_1)	303,85 K
Coolant Out (T_2)	303,15 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,3 K

$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	2 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	1,3 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2400 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,216 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	$0,1796 m^2$

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h \\ &= 0,0053 \cdot 2400 \cdot 0,4 = 5,05 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,3 = 3,55 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{5,05 + 3,55}{2} = 4,3 \text{ W} \end{aligned}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{2 - 1,3}{\ln \left[\frac{2}{1,3} \right]} = 1,62 \text{ K} \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{4,3}{0,1796 \times 1,62} = 14,74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot Cp_h \\ &= 0,0053 \cdot 2400 = 12,63 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned} C_c &= m_c \cdot Cp_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 14,74 \cdot 0,1796 \cdot 1,62 = 4,3 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min}(Th_{inlet} - Tc_{inlet}) \\ &= 11,84 (305,85 - 303,85) = 23,68 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Parallel Flow*)

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\ &= \frac{4,3}{23,68} \times 100\% = 18,17\% \end{aligned}$$

b. 0,6 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran searah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,55 K
Nanofluid out (t_2)	305,45 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,1 K
Coolant in (T_1)	304,75 K
Coolant Out (T_2)	304,95 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,2 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	0,8 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	0,5 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2400 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,432 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th$$

$$= 0,0105 \cdot 2400 \cdot 0,1 = 2,53 \text{ W}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,2 = 2,37 \text{ W}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{2,53 + 2,37}{2} = 2,45 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{0,8 - 0,5}{\ln \left[\frac{0,8}{0,5} \right]} = 0,64 \text{ K} \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{2,45}{0,1796 \times 0,64} = 21,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot C_{p_h} \\ &= 0,0105 \cdot 2400 = 25,26 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned} C_c &= m_c \cdot C_{p_c} \\ &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu 11,84 W/K .

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 21,35 \cdot 0,1796 \cdot 0,64 = 2,45 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min} (T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}}) \\ &= 11,84 (305,55 - 304,75) = 9,47 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Parallel Flow*)

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\ &= \frac{2,45}{9,47} \times 100\% = 25,83 \text{ \%} \end{aligned}$$

c. 0,9 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran searah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,15 K
Nanofluid out (t_2)	304,95 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,2 K
Coolant in (T_1)	304,15 K
Coolant Out (T_2)	304,25 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,1 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	1 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	0,7 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2400 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,648 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\ &= 0,0158 \cdot 2400 \cdot 0,2 = 7,58 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,1 = 1,18 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{7,58 + 1,18}{2} = 4,38 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{1 - 0,7}{\ln \left[\frac{1}{0,7} \right]} = 0,84 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{4,38}{0,1796 \times 0,84} = 29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot C_{p_h}$$

$$= 0,0158 \cdot 2400 = 37,89 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot C_{p_c}$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu 11,84 W/K .

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 29 \cdot 0,1796 \cdot 0,84 = 4,38 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min} (T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}})$$

$$= 11,84 (305,15 - 304,15) = 11,84 \text{ W}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Paralel Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{4,38}{11,84} \times 100\% = 37 \%$$

4.3 Perhitungan untuk Larutan Nanofluid Konsentrasi 0,3 %

Perhitungan untuk larutan nanofluid konsentrasi 0,3% adalah sebagai berikut.

4.3.1 Variasi Arah Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

Untuk variasi arah aliran *counter flow*, terdapat 3 variasi laju aliran yaitu, 0,3 LPM, 0,6 LPM. 0,9 LPM.

a. 0,3 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	306,25 K
Nanofluid out (t_2)	305,95 K
Rata-rata nanofluid (ΔT_h)	0,3 K
Coolant in (T_1)	305,25 K
Coolant Out (T_2)	305,35 K
Rata-rata Coolant (ΔT_c)	0,1 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	0,9 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	0,7 K
Kapasitas panas coolant (Cpc)	3283 J/kg K

Kapasitas panas nanofluid (Cph Nanofluid)	2750 J/kg K
Laju aliran coolant (m _c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m _h)	0,216 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m ²

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h$$

$$= 0,0053 \cdot 2750 \cdot 0,3 = 4,34 \text{ W}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,1 = 1,18 \text{ W}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{4,34 + 1,1}{2} = 2,76 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{0,9 - 0,7}{\ln \left[\frac{0,9}{0,7} \right]} = 0,8 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{2,76}{0,1796 \times 0,8} = 19,34 \text{ W.m}^2.\text{K}$$

- Menentukan *Cmin*

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot Cp_h$$

$$= 0,0053 \cdot 2750 = 14,48 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot Cp_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 19,34 \cdot 0,1796 \cdot 0,8 = 2,76 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min}(Th_{inlet} - Tc_{inlet})$$

$$= 11,84 (306,25 - 305,25) = 11,84 \text{ W}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{2,76}{11,84} \times 100\% = 23,34 \%$$

b. 0,6 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 10 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,65 K
Nanofluid out (t_2)	305,45 K

Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,2 K
Coolant in (T_1)	304,45 K
Coolant Out (T_2)	304,85 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,4 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	1 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	0,8 K
Kapasitas panas coolant (Cpc)	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (Cph Nanofluid)	2750 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,432 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	$0,1796 m^2$

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\ &= 0,0105 \cdot 2750 \cdot 0,2 = 5,79 W \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,4 = 4,74 W \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{5,79 + 4,74}{2} = 5,26 W \end{aligned}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{1 - 0,8}{\ln \left[\frac{1}{0,8} \right]} = 0,9 K \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned}
 U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\
 &= \frac{5,26}{0,1796 \times 0,9} = 32,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned}
 C_h &= m_h \cdot C_{p_h} \\
 &= 0,0105 \cdot 2750 = 28,95 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned}
 C_c &= m_c \cdot C_{p_c} \\
 &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 32,7 \cdot 0,1796 \cdot 0,9 = 5,26 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned}
 q_{max} &= C_{min}(T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}}) \\
 &= 11,84 (305,65 - 304,45) = 14,21 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\
 &= \frac{5,26}{14,21} \times 100\% = 37,04 \%
 \end{aligned}$$

c. 0,9 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	306,75 K
Nanofluid out (t_2)	306,45 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,3 K
Coolant in (T_1)	305,15 K
Coolant Out (T_2)	305,55 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,4 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	1,3 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	1,2 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2750 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,648 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned}
 Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\
 &= 0,0036 \cdot 2750 \cdot 0,3 = 13,03 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned}
 Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\
 &= 0,0158 \cdot 3283 \cdot 0,4 = 4,74 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{13,03 + 4,74}{2} = 8,88 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{1,3 - 1,2}{\ln \left[\frac{1,3}{1,2} \right]} = 1,25 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{8,8}{0,1796 \times 1,25} = 39,59 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot C p_h$$

$$= 0,0158 \cdot 2750 = 43,43 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot C p_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 39,59 \cdot 0,1796 \cdot 1,25 = 8,8 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min} (T h_{inlet} - T c_{inlet})$$

$$= 11,84 (306,75 - 305,15) = 18,95 \text{ W}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{8,88}{18,95} \times 100\% = 46,88 \%$$

4.3.2 Variasi Arah Aliran Searah (*Paralel Flow*)

Untuk variasi arah aliran *paralel flow*, terdapat 3 variasi laju aliran yaitu, 0,3 LPM, 0,6 LPM. 0,9 LPM.

a. 0,3 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran searah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	306,85 K
Nanofluid out (t_2)	306,25 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,6 K
Coolant in (T_1)	305,05 K
Coolant Out (T_2)	304,55 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,5 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	1,8 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	1,7 K
Kapasitas panas coolant (Cpc)	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (Cph Nanofluid)	2750 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,216 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h \\ &= 0,0053 \cdot 2750 \cdot 0,6 = 7,58 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,5 = 5,92 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{7,58 + 5,92}{2} = 6,75 \text{ W} \end{aligned}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{1,8 - 1,7}{\ln \left[\frac{1,8}{1,7} \right]} = 1,75 \text{ K} \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{6,75}{0,1796 \times 1,75} = 21,48 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menentukan *Cmin*

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot C_p \\ &= 0,0053 \cdot 2750 = 12,63 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot C p_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 21,48 \cdot 0,1796 \cdot 1,75 = 6,75 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min}(Th_{inlet} - Tc_{inlet})$$

$$= 11,84 (306,85 - 305,05) = 21,31 \text{ W}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Paralel Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{6,75}{21,31} \times 100\% = 31,67 \%$$

b. 0,6 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran searah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 13 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran serah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	306,55 K
Nanofluid out (t_2)	306,25 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,4 K
Coolant in (T_1)	305,35 K

Coolant Out (T_2)	305,05 K
Rata-rata Coolant (ΔT_c)	0,3 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	1,2 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	1,2 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2750 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,432 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h$$

$$= 0,0105 \cdot 2750 \cdot 0,3 = 7,58 \text{ W}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c$$

$$= 0,0105 \cdot 3283 \cdot 0,3 = 3,55 \text{ W}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{7,58 + 3,55}{2} = 5,57 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{1,2 - 1,1}{\ln \left[\frac{1,2}{1,1} \right]} = 1,2 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{5,57}{0,1796 \times 1,2} = 25,85 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot Cp_h \\ &= 0,0105 \cdot 2750 = 25,27 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned} C_c &= m_c \cdot Cp_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 25,85 \cdot 0,1796 \cdot 1,2 = 5,57 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min} (Th_{inlet} - Tc_{inlet}) \\ &= 11,84 (306,55 - 305,35) = 14,21 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Paralel Flow*)

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\ &= \frac{5,57}{14,21} \times 100\% = 39,17\% \end{aligned}$$

c. 0,9 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran searah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 14 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran searah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,75 K
Nanofluid out (t_2)	305,55 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,2 K
Coolant in (T_1)	304,65 K
Coolant Out (T_2)	304,35 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,3 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	1,2 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	1,1 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2750 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,648 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\ &= 0,0158 \cdot 2750 \cdot 0,2 = 7,58 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,3 = 3,55 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{7,58 + 3,55}{2} = 5,57 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{1,2 - 1,1}{\ln \left[\frac{1,2}{1,1} \right]} = 1,15 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{5,57}{0,1796 \times 1,15} = 26,97 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan *C_{min}*

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot C_{p_h}$$

$$= 0,0158 \cdot 2750 = 37,9 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot C_{p_c}$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka *C_{min}* adalah C_c yaitu 11,84 W/K .

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 26,97 \cdot 0,1796 \cdot 1,15 = 5,57 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min} (T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}})$$

$$= 11,84 (305,75 - 304,65) = 13,02 \text{ W}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Paralel Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{5,57}{13,02} \times 100\% = 42,74 \%$$

4.4 Perhitungan untuk Larutan Nanofluid Konsentrasi 0,5%

Perhitungan untuk larutan nanofluid konsentrasi 0,5% adalah sebagai berikut.

4.4.1 Variasi Arah Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

Untuk variasi arah aliran *counter flow*, terdapat 3 variasi laju aliran yaitu, 0,3 LPM, 0,6 LPM, 0,9 LPM.

a. 0,3 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 15 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,15 K
Nanofluid out (t_2)	304,85 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,3 K
Coolant in (T_1)	304,45 K
Coolant Out (T_2)	303,65 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,2 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	0,5 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	0,4 K
Kapasitas panas coolant (Cpc)	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (Cph Nanofluid)	2530 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m

Laju aliran nanofluid (m_h)	0,216 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h$$

$$= 0,0053 \cdot 2530 \cdot 0,3 = 3,99 \text{ W}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,2 = 2,37 \text{ W}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{3,99 + 2,37}{2} = 3,18 \text{ W}$$

- Perhitungan Log Mean Temperature Difference (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{0,5 - 0,4}{\ln \left[\frac{0,5}{0,4} \right]} = 0,45 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{3,18}{0,1796 \times 0,45} = 39,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot C_{p_h}$$

$$= 0,0053 \cdot 2530 = 13,31 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot C_{p_c}$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 39,52 \cdot 0,1796 \cdot 0,45 = 3,18 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min} (T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}}) \\ &= 11,84 (305,15 - 304,45) = 8,29 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{3,18}{8,29} \times 100\% = 38,38 \%$$

b. 0,6 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 16 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	307,95 K
Nanofluid out (t_2)	307,65 K

Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,3 K
Coolant in (T_1)	307,25 K
Coolant Out (T_2)	307,35 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,1 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	0,6 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	0,4 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2530 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,432 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	$0,1796 m^2$

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\ &= 0,0105 \cdot 2530 \cdot 0,3 = 7,99 W \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,1 = 1,18 W \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{7,99 + 1,18}{2} = 4,59 W \end{aligned}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{0,6 - 0,4}{\ln \left[\frac{0,6}{0,4} \right]} = 0,49 K \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned}
 U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\
 &= \frac{4,59}{0,1796 \times 0,49} = 51,76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned}
 C_h &= m_h \cdot Cp_h \\
 &= 0,0105 \cdot 2530 = 26,62 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned}
 C_c &= m_c \cdot Cp_c \\
 &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 51,76 \cdot 0,1796 \cdot 0,49 = 4,59 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned}
 q_{max} &= C_{min}(Th_{inlet} - Tc_{inlet}) \\
 &= 11,84 (307,95 - 307,25) = 8,29 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\
 &= \frac{4,59}{8,29} \times 100\% = 55,32 \%
 \end{aligned}$$

c. 0,9 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 17 Data masukan untuk perhitungan pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,45 K
Nanofluid out (t_2)	305,25 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,2 K
Coolant in (T_1)	304,55 K
Coolant Out (T_2)	304,95 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,4 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_2)$	0,7 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_1)$	0,5 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2530 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,648 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\ &= 0,0158 \cdot 2530 \cdot 0,2 = 7,99 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,4 = 4,74 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2}$$

$$Q_{average} = \frac{7,99 + 4,74}{2} = 6,36 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{0,7 - 0,5}{\ln \left[\frac{0,7}{0,5} \right]} = 0,59 \text{ K}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LMTD}$$

$$= \frac{6,36}{0,1796 \times 0,59} = 59,59 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot Cp_h$$

$$= 0,0158 \cdot 2530 = 39,93 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot Cp_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 59,59 \cdot 0,1796 \cdot 0,59 = 6,36 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min} (Th_{inlet} - Tc_{inlet})$$

$$= 11,84 (305,45 - 305,25) = 10,66 \text{ W}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{6,36}{10,66} \times 100\% = 59,7 \%$$

4.4.2 Variasi Arah Aliran Searah (*Parallel Flow*)

Untuk variasi arah aliran *parallel flow*, terdapat 3 variasi laju aliran yaitu, 0,3 LPM, 0,6 LPM. 0,9 LPM.

a. 0,3 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 18 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	305,25 K
Nanofluid out (t_2)	305,05 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,2 K
Coolant in (T_1)	303,85 K
Coolant Out (T_2)	304,45 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,6 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	1,4 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	0,6 K
Kapasitas panas coolant (Cpc)	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (Cph Nanofluid)	2530 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,216 kg/m

Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m ²
----------------------------	-----------------------

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel flow*) dan variasi laju aliran 0,3 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h \\ &= 0,0053 \cdot 2530 \cdot 0,2 = 2,66 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,6 = 7,1 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{2,66 + 7,1}{2} = 4,88 \text{ W} \end{aligned}$$

- Perhitungan Log Mean Temperature Difference (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{1,4 - 0,6}{\ln \left[\frac{1,4}{0,6} \right]} = 0,94 \text{ K} \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{4,88}{0,1796 \times 0,94} = 28,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$C_h = m_h \cdot C_{p_h}$$

$$= 0,0053 \cdot 2530 = 13,31 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot Cp_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 28,8 \cdot 0,1796 \cdot 0,94 = 4,88 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min} (Th_{inlet} - Tc_{inlet})$$

$$= 11,84 (305,25 - 303,85) = 16,58 \text{ W}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Parallel Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{4,88}{16,58} \times 100\% = 29,46 \%$$

b. 0,6 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran searah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 19 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	306,75 K
Nanofluid out (t_2)	306,55 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,2 K

Coolant in (T_1)	305,85 K
Coolant Out (T_2)	305,75 K
Rata-rata Coolant (ΔT_c)	0,1 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	0,9 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	0,8 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2530 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,432 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,6 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h \\ &= 0,0105 \cdot 2530 \cdot 0,2 = 5,32 \text{ W} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned} Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,1 = 1,18 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{5,32 + 1,18}{2} = 3,25 \text{ W} \end{aligned}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{0,9 - 0,8}{\ln \left[\frac{0,9}{0,8} \right]} = 0,85 \text{ K} \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned}
 U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\
 &= \frac{3,25}{0,1796 \times 0,85} = 21,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned}
 C_h &= m_h \cdot C_{p_h} \\
 &= 0,0105 \cdot 2530 = 26,62 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned}
 C_c &= m_c \cdot C_{p_c} \\
 &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \frac{\text{kW}}{\text{K}} = 11162 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 21,34 \cdot 0,1796 \cdot 0,85 = 3,25 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned}
 q_{max} &= C_{min}(T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}}) \\
 &= 11,84 (306,75 - 305,85) = 10,66 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Searah (*Parallel Flow*)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \\
 &= \frac{3,25}{10,66} \times 100\% = 30,54 \%
 \end{aligned}$$

c. 0,9 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran searah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 20 Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM

Keterangan	Data
Nanofluid in (t_1)	306,15 K
Nanofluid out (t_2)	306,05 K
Rata-rata nanofluid (ΔTh)	0,1 K
Coolant in (T_1)	305,55 K
Coolant Out (T_2)	305,65 K
Rata-rata Coolant (ΔTc)	0,1 K
$\Delta T_1 (t_1 - T_1)$	0,6 K
$\Delta T_2 (t_2 - T_2)$	0,4 K
Kapasitas panas coolant (C_{pc})	3283 J/kg K
Kapasitas panas nanofluid (C_{ph} Nanofluid)	2530 J/kg K
Laju aliran coolant (m_c)	0,144 kg/m
Laju aliran nanofluid (m_h)	0,648 kg/m
Luas perpindahan panas (A)	0,1796 m^2

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

$$\begin{aligned}
 Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta Th \\
 &= 0,0158 \cdot 2530 \cdot 0,1 = 3,99 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh coolant

$$\begin{aligned}
 Q_c &= m_c \cdot C_p \cdot \Delta Tc \\
 &= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,1 = 1,18 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Maka

$$Q_{average} = \frac{Q_h + Q_c}{2} = \frac{3,99 + 1,18}{2} = 2,59 \text{ W}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{0,6 - 0,4}{\ln \left[\frac{0,6}{0,4} \right]} = 0,49 \text{ K} \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{2,59}{0,1796 \times 0,49} = 29,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menentukan C_{min}

Untuk menentukan kapasitas kalor minimal, maka harus terlebih dahulu dihitung kapasitas kalor pada nanofluid dan coolant. Untuk kapasitas kalor pada nanofluid adalah :

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot Cp_h \\ &= 0,0158 \cdot 2530 = 39,93 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$\begin{aligned} C_c &= m_c \cdot Cp_c \\ &= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Karena $C_c < C_h$ maka C_{min} adalah C_c yaitu $11,84 \text{ W/K}$.

- Perhitungan Panas Aktual

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} = 29,22 \cdot 0,1796 \cdot 0,49 = 2,59 \text{ W}$$

- Perhitungan Panas Maksimal

$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min} (T_{h_{inlet}} - T_{c_{inlet}}) \\ &= 11,84 (306,15 - 305,55) = 7,10 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Efektivitas untuk Aliran Berlawanan Arah (*Counter Flow*)

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{2,59}{7,10} \times 100\% = 36,44 \%$$

4.5 Analisa Hasil Perhitungan

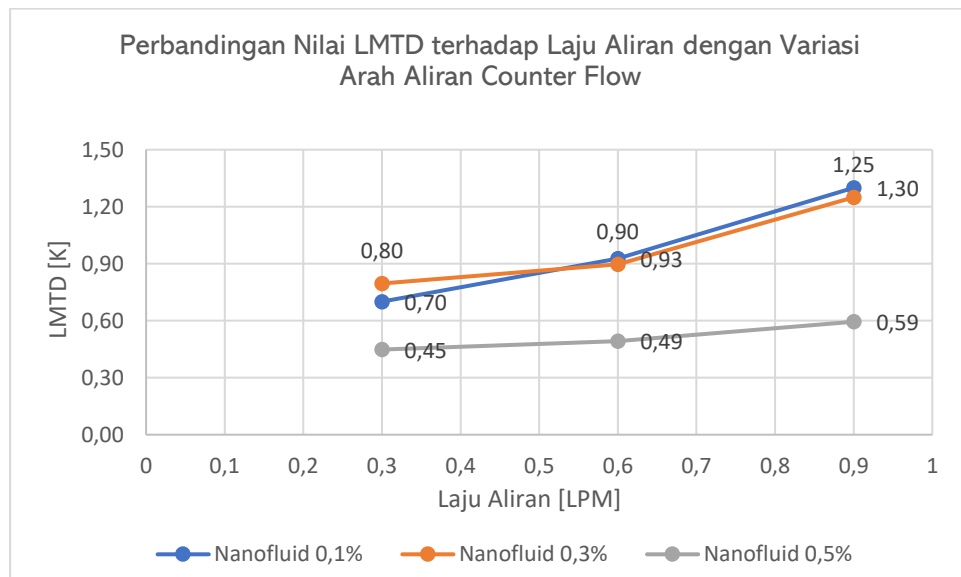
Data eksperimen yang diperoleh dari hasil pengolahan data disusun dalam bentuk tabel dan grafik. Grafik ini terdiri dari beberapa hubungan antar variabel yang diamati, yaitu nilai *log mean temperature difference* (LMTD), nilai koefisien perpindahan panas, dan nilai efektivitas perpindahan panas. Dari berbagai grafik tersebut diharapkan dapat mengungkap kinerja *double pipe heat exchanger* pada sistem pendingin lithium ion dengan perlakuan variasi pada fluida, arah aliran dan laju aliran. Berikut ini adalah hasil dari perhitungan pada nanofluid.

Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Data Nanofluid

Nanofluid 0,1%						
	Counter Flow			Paralel Flow		
	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
LMTD	0,70	0,93	1,30	1,62	0,84	0,64
U average	19,46	28,90	31,97	14,74	21,35	29,00
Efektivitas	22,96	31,28	39,38	18,17	25,83	37,00
Nanofluid 0,3%						
	Counter Flow			Paralel Flow		
	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
LMTD	0,80	0,90	1,25	1,75	1,20	1,15
U average	19,34	32,70	39,59	21,48	25,85	26,97
Efektivitas	23,34	37,04	46,88	29,46	30,54	36,44

Nanofluid 0,5%						
	Counter Flow			Paralel Flow		
	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
LMTD	0,45	0,49	0,59	0,94	0,85	0,49
U average	39,52	51,76	59,59	28,80	21,34	29,22
Efektivitas	38,38	55,32	59,70	31,67	39,17	42,74

Berikut adalah grafik dari data hasil perhitungan pada tabel 4.21 yang memberikan data hubungan antara *log mean temperature difference* (LMTD), koefisien perpindahan panas dan juga efektivitas perpindahan panas terhadap variasi laju aliran.

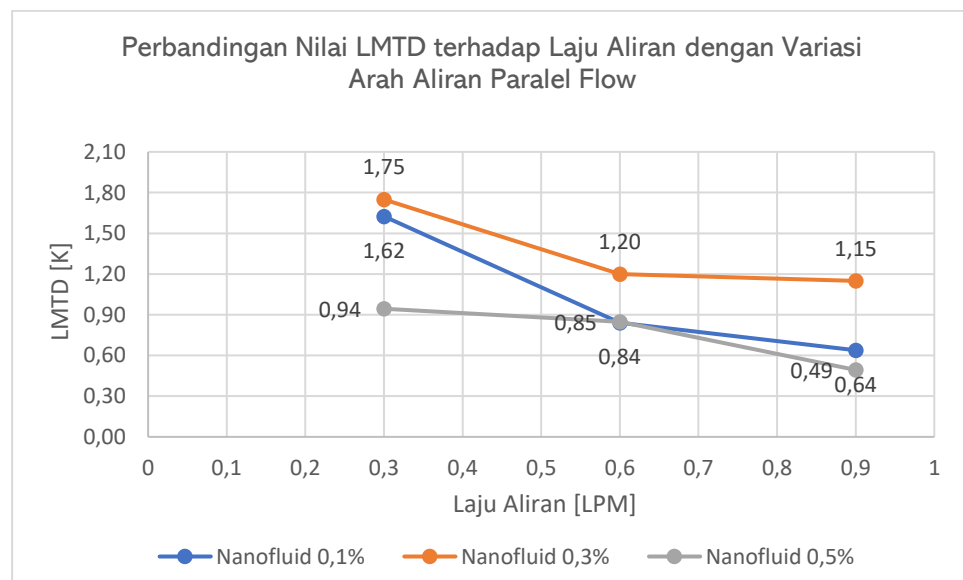


Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan LMTD terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran *Counter Flow*

Gambar 4.19 diatas menunjukkan hubungan antara *log mean temperature difference* (LMTD) terhadap laju aliran pada variasi arah aliran *counter flow*. Setiap konsentrasi nanofluid mengalami kenaikan nilai *log mean temperature difference* (LMTD) seiring dengan meningkatnya variasi laju aliran. Garis biru pada grafik tersebut menunjukkan nilai pada nanofluid konsentrasi 0,1 %, dimana nilai LMTD pada laju aliran 0,3 LPM adalah 0,70K dan pada laju aliran 0,6 LPM naik menjadi 0,93 K dan mengalami kenaikan nilai LMTD menjadi 1,3 K pada laju aliran 0,9 LPM. Begitu juga

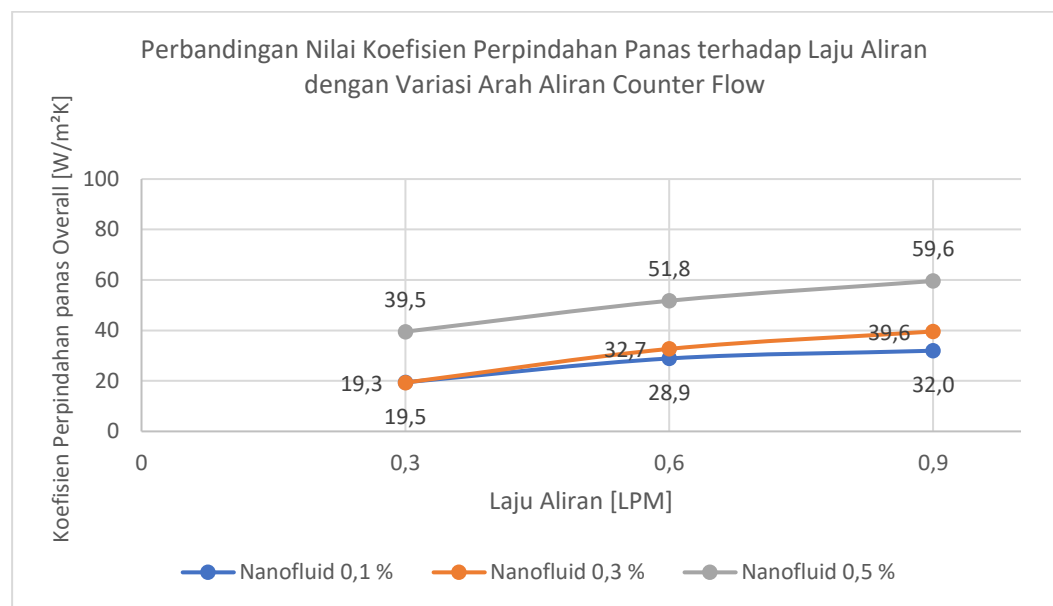
dengan larutan nanofluid konsentrasi 0,3 % yang ada pada garis kuning mengalami kenaikan nilai seiring dengan naiknya laju aliran, dimulai dengan 0,8 K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 0,9 K pada laju aliran 0,6 LPM dan 1,25 K pada laju aliran 0,9 LPM. Pada nanofluid konsentrasi 0,5 % yang ditunjukkan pada garis abu-abu di gambar 4.19, nilai LMTD pada laju aliran 0,3 LPM yaitu 0,45 K naik pada laju aliran 0,6 LPM menjadi 0,49 K dan menjadi 0,59 K pada variasi laju aliran 0,9 LPM.

Grafik pada gambar 4.19 menunjukkan nilai LMTD pada variasi aliran berlawanan arah (*counter flow*) pada laju aliran 0,3 LPM, nilai LMTD tertinggi adalah pada larutan nanofluid konsentrasi 0,3 % sebesar 0,8 K dan nilai LMTD terkecil pada larutan nanofluid konsentrasi 0,5 % dengan nilai sebesar 0,45 K. Pada laju aliran 0,6 LPM, nilai LMTD tertinggi adalah pada larutan nanofluid konsentrasi 0,1% sebesar 0,93 K dan nilai LMTD terkecil pada larutan nanofluid konsentrasi 0,5% dengan nilai sebesar 0,49 K. Pada laju aliran 0,9 LPM nilai LMTD tertinggi adalah pada larutan nanofluid konsentrasi 0,1% dengan nilai sebesar 1,25 K dan nilai terkecil pada larutan nanofluid dengan konsentrasi 0,5 % dengan nilai LMTD sebesar 0,59 K.



Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan LMTD terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran *Paralel Flow*

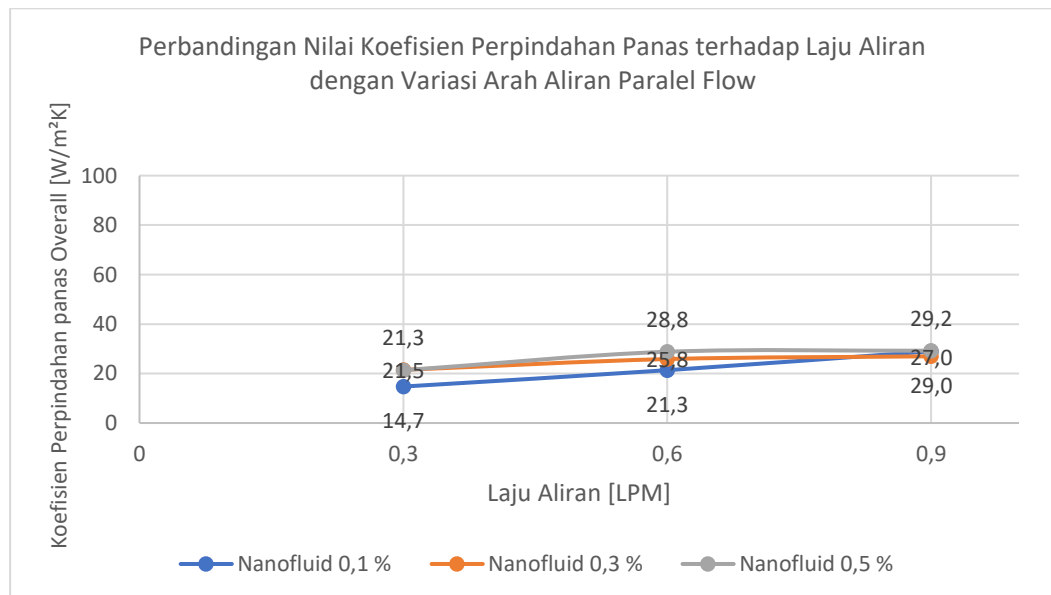
Pada gambar 4.20 diatas menunjukkan hubungan nilai LMTD dengan laju aliran pada variasi aliran searah (*parallel flow*). Pada nanofluid konsentrasi 0,1% mengalami penurunan nilai LMTD dari 1,62 K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 0,85 K pada laju aliran 0,6 LPM dan pada laju aliran 0,9 LPM menjadi 0,64 K. Pada nanofluid konsentrasi 0,3% juga mengalami penurunan nilai LMTD dari 1,75 K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 1,2 K pada laju aliran 0,6 LPM dan pada laju aliran 0,9 LPM menjadi 1,15 K. Begitu juga dengan nanofluid dengan variasi 0,5 % mengalami penurunan nilai LMTD dari 0,94 K pada laju aliran 0,3 LPM turun menjadi 0,85 K pada laju aliran 0,6 LPM dan turun pada laju aliran 0,9 LPM menjadi 0,49 K. Dari grafik pada gambar 4.20, nilai LMTD pada variasi aliran searah (*parallel flow*) mengalami penurunan nilai seiring dengan meningkatnya laju aliran.



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Nilai Perpindahan Panas Overall rata-rata terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran *Counter Flow*

Pada gambar 4.21 dapat dilihat perbandingan nilai perpindahan panas terhadap laju aliran dengan variasi aliran berlawanan arah (*counter flow*). Pada gambar tersebut nanofluid konsentrasi 0,1% mengalami kenaikan nilai perpindahan panas dari 19,5 W/m²K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 28,9 W/m²K pada laju aliran 0,6 LPM dan naik menjadi 32 W/m²K pada laju

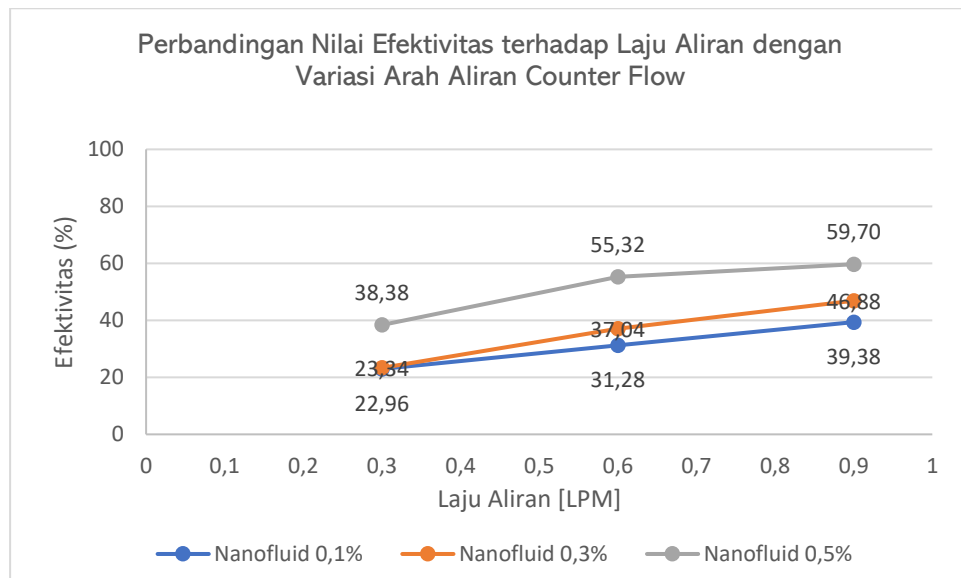
aliran 0,9 LPM. Pada nanofluid konsentrasi 0,3% terdapat kenaikan nilai perpindahan panas pada setiap laju aliran. Pada laju aliran 0,3 LPM nilai perpindahan panas sebesar 19,3 W/m²K naik menjadi 32,7 W/m²K pada laju aliran 0,6 LPM dan naik menjadi 39,6 W/m²K pada laju aliran 0,9 LPM. Dari grafik menunjukkan bahwa pada nanofluid 0,5% mengalami kenaikan nilai koefisien panas dari 39,5 W/m²K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 51,8 W/m²K pada laju aliran 0,6 LPM dan pada laju aliran 0,9 LPM mengalami kenaikan nilai perpindahan panas menjadi 59,6 W/m²K. Selain perbedaan temperatur masuk dan keluar nanofluid dan coolant, nilai koefisien panas, luas permukaan perpindahan panas dan laju aliran juga merupakan salah satu faktor dari nilai perpindahan panas.



Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Nilai Perpindahan Panas Overall rata-rata terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran *Paralel Flow*

Pada gambar 4.22 memberikan informasi perbandingan nilai perpindahan panas terhadap laju aliran dengan variasi arah aliran searah (*parallel flow*). Pada gambar tersebut nanofluid konsentrasi 0,1 % mengalami kenaikan nilai perpindahan panas overall rata – rata dari 14,7 W/m²K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 21,3 W/m²K pada laju aliran 0,6 LPM dan mengalami kenaikan nilai menjadi 29 W/m²K pada laju aliran 0,9 LPM. Dari grafik menunjukkan bahwa pada nanofluid konsentrasi 0,3% mengalami kenaikan nilai perpindahan panas overall rata-rata dari 21,5 W/m²K pada laju

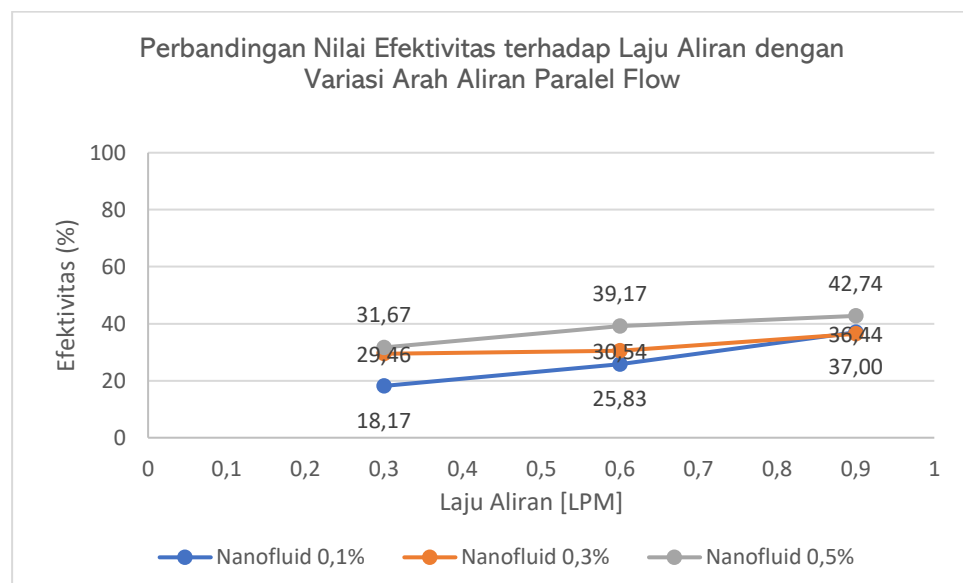
aliran 0,3 LPM menjadi 25,8 W/m²K pada laju aliran 0,6 LPM dan mengalami kenaikan nilai perpindahan panas menjadi 27 W/m²K pada laju aliran 0,9 LPM, begitu juga dengan nanofluid 0,5% mengalami kenaikan nilai perpindahan panas overall rata-rata dari 21,3 W/m²K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 28,8 W/m²K pada laju aliran 0,6 LPM dengan mengalami kenaikan nilai perpindahan panas overall rata-rata menjadi 29,2 W/m²K pada laju aliran 0,9 LPM. Pada variasi arah aliran searah (*parallel flow*) setiap konsentrasi nanofluid mengalami kenaikan nilai perpindahan panas seiring dengan bertambahnya laju aliran. Selain perbedaan temperatur masuk dan keluar nanofluid dan coolant, nilai koefisien panas dan viskositas juga merupakan salah satu faktor dari nilai perpindahan panas.



Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Nilai Efektivitas terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran *Counter Flow*

Gambar 4.23 menunjukkan grafik perbandingan nilai efektivitas terhadap laju aliran dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*). Pada nanofluid konsentrasi 0,1% menunjukkan nilai efektivitas yang naik secara konsisten yaitu sebesar 22,96 % pada laju aliran 0,3 LPM dan naik menjadi 31,28 % pada laju aliran 0,6 LPM dan menjadi 39,38 % pada laju aliran 0,9 LPM. Begitu juga dengan nanofluid 0,3% mengalami kenaikan nilai efektivitas pada setiap variasi laju aliran dimulai dengan nilai efektivitas

sebesar 23,34 % pada laju aliran 0,3 LPM naik menjadi 37,04 % pada laju aliran 0,6 LPM dan menjadi 46,88 % pada laju aliran 0,9 LPM. Sama halnya dengan nanofluid konsentrasi 0,1% dan nanofluid konsentrasi 0,3%, nanofluid konsentrasi 0,5% juga mengalami kenaikan nilai efektivitas dimulai dengan nilai efektivitas sebesar 38,38 % pada laju aliran 0,3 LPM naik menjadi 55,32 % pada laju aliran 0,6 LPM dan menjadi 59,7 % pada laju aliran 0,9 LPM.



Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Nilai Efektivitas terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran *Paralel Flow*

Gambar 4.24 menunjukkan grafik perbandingan nilai efektivitas terhadap laju aliran dengan variasi arah aliran searah (*parallel flow*). Pada nanofluid konsentrasi 0,1% menunjukkan nilai efektivitas yang naik secara konsisten yaitu sebesar 18,17 % pada laju aliran 0,3 LPM dan naik menjadi 25,83 % pada laju aliran 0,6 LPM dan menjadi 37 % pada laju aliran 0,9 LPM. Begitu juga dengan nanofluid 0,3% mengalami kenaikan nilai efektivitas pada setiap variasi laju aliran dimulai dengan nilai efektivitas sebesar 29,46% pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 30,54 % pada laju aliran 0,6 LPM dan naik menjadi 36,44 % pada laju aliran 0,9 LPM. Sama halnya dengan nanofluid konsentrasi 0,1% dan nanofluid konsentrasi 0,3%, nanofluid konsentrasi

0,5% juga mengalami kenaikan nilai efektivitas dimulai dengan 31,67 % pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 39,17 % pada laju aliran 0,6 LPM dan naik menjadi 42,74 % pada laju aliran 0,9 LPM.

Grafik pada gambar 4.23 dan gambar 4.24 memperlihatkan nilai efektivitas pada setiap laju aliran, variasi konsentrasi nanofluid dan variasi arah aliran. Pada variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) nilai efektivitas tertinggi adalah pada nanofluid konsentrasi 0,5 % pada variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebesar 59,7 % dan pada variasi arah aliran searah (*parallel flow*) nilai efektivitas tertinggi adalah pada nanofluid konsentrasi 0,5% dengan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebesar 42,74 %. Baik grafik pada gambar 4.23 maupun 4.24 memperlihatkan bahwa semakin besarnya nilai laju aliran maka nilai efektivitas yang didapatkan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan saat kecepatan aliran fluida panas (nanofluid) membesar maka terjadi peningkatan dalam transfer energi termal antara nanofluid dan coolant. Selain pengaruh laju aliran, viskositas dari nanofluid juga berpengaruh terhadap efektivitas perpindahan panas, viskositas pada nanofluid konsentrasi 0,1% adalah 2,3 cP, viskositas pada nanofluid konsentrasi 0,3% adalah 2,6 cP, viskositas pada nanofluid 0,5% adalah 2,2 cP. Viskositas pada nanofluid konsentrasi 0,5 % paling rendah dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Viskositas yang rendah akan mengurangi hambatan aliran fluida dan meningkatkan kemampuan fluida untuk bergerak di dalam pipa.