

**ANALISIS KINERJA *DOUBLE - PIPE HEAT EXCHANGER*  
PADA SISTEM PENDINGIN *LITHIUM ION BATTERY* TIPE  
*WAVY CHANNEL***

**Skripsi**

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1  
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun oleh

**Andreas Simanjuntak**

**3331190068**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

**CILEGON – BANTEN**

**2023**

**ANALISIS KINERJA *DOUBLE - PIPE HEAT EXCHANGER*  
PADA SISTEM PENDINGIN *LITHIUM ION BATTERY* TIPE  
*WAVY CHANNEL***

**Skripsi**

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1  
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun oleh

**Andreas Simanjuntak**

**3331190068**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

**CILEGON – BANTEN**

**2023**

## TUGAS AKHIR


### Analisis Kinerja Double - Pipe Heat Exchanger Pada Sistem Pendingin Lithium Ion Battery Tipe Wavy Channel

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Andreas Simanjuntak**  
3331190068

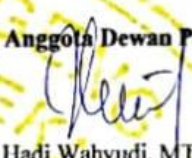
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 19 Desember 2023

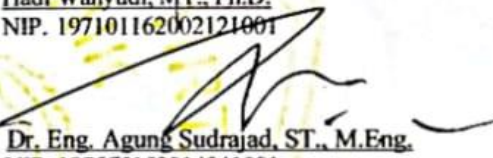
**Pembimbing Utama**


  
Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041002

Yusvardi Yusuf, ST., MT.  
NIP. 197910302003121001

**Anggota Dewan Penguji**

  
Hadi Wahyudi, MT., Ph.D.  
NIP. 197101162002121001


  
Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.  
NIP. 197505152014041001

  
Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041002

Yusvardi Yusuf, ST., MT.  
NIP. 197910302003121001

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal, 27 Desember 2023  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

  
Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP. 198305102012121006

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : Andreas Simanjuntak  
NPM : 3331190068  
Judul : Analisis Kinerja *Double-Pipe Heat Exchanger* Pada Sistem Pendingin *Lithium Ion Battery Tipe Wavy Channel*

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Desember 2023



Andreas Simanjuntak

3331190068

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala karunia dan pertolongan-Nya yang memberikan pengetahuan, pengalaman, kekuatan dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Kinerja *Double-Pipe Heat Exchanger* pada Sistem Pendingin *Lithium Ion Battery Tipe Wavy Channel*”. Tugas ini merupakan syarat wajib bagi setiap mahasiswa agar dapat menyelesaikan Program Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat arahan dan masukan dari berbagai pihak sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa menyertai, memberikan jalan, kelancaran dan anugerahnya kepada penulis.
2. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FT. UNTIRTA dan seluruh jajaran pengelola Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu sehingga keberlangsungan penelitian berjalan dengan lancar.
3. Ibu Miftahul Jannah, S.T., M. Eng, selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FT UNTIRTA.
4. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan waktu dan pikirannya untuk mengembangkan penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membantu membimbing dalam pelaksanaan tugas akhir.
6. Ibu Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng selaku dosen pembimbing akademik penulis atas bimbingan dan semangat yang diberikan dalam menjalankan perkuliahan.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen yang senantiasa selalu memberikan pengarahan dan berbagi ilmu kepada penulis di Jurusan Teknik Mesin FT.UNTIRTA.
8. Teristimewa untuk keluarga yang tiada henti memberikan semangat dan mendukung penulis di dalam doa selama menjalani pendidikan sampai menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk ayah saya Anner Donny Simanjuntak, S.Pd dan ibu saya Dewi Saida Katarina Hutabarat serta abang saya Advent Maringan Tua Simanjuntak dan kakak saya Apriani Devitri Simanjuntak.
9. Tim penelitian tugas akhir, diantaranya ada Rodo Sitanggang, Muhammad Ilham Fatwa, Wahyudin, Tubagus Nuriman dan Fikri.
10. Serta semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung terkait dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan, untuk itulah saran dan masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan laporan ini. Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan mambalas segala kebaikan semua pihak yang sudah membantu. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Cilegon, Desember 2023

Penulis

## ABSTRAK

### **Analisis Kinerja *Double-Pipe Heat Exchanger* pada Sistem Pendingin *Lithium Ion Battery* Tipe *Wavy Channel***

Disusun Oleh :

**Andreas Simanjuntak**

**331190068**

Manajemen termal diperlukan untuk mengontrol suhu baterai agar tetap dalam kondisi optimal. Sistem pendingin yang digunakan adalah *wavy channel* dan *double pipe heat exchanger*. Perhitungan efektivitas *double pipe heat exchanger* dilakukan untuk mengetahui kinerjanya. Dalam penelitian ini, fluida yang digunakan adalah nanofluid dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,3% dan 0,5%. Variasi arah aliran pada *double pipe heat exchanger* dipertimbangkan, yaitu aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan aliran searah (*parallel flow*). Pengaruh variasi laju aliran yang dialirkan dipertimbangkan, yaitu 0,3 LPM, 0,6 LPM dan 0,9 LPM. Berdasarkan hasil perhitungan, variasi arah aliran berpengaruh terhadap efektivitas perpindahan panas pada *double pipe heat exchanger*. Pada variasi arah aliran berlawanan (*counter flow*) efektivitas perpindahan panas tertinggi adalah pada variasi nanofluid 0,5 % dengan laju aliran 0,9 LPM yaitu sebesar 59,7%. Pada variasi arah aliran searah (*parallel flow*) efektivitas perpindahan panas tertinggi adalah pada variasi nanofluid 0,5 % dengan laju aliran 0,9 LPM dengan nilai efektivitas perpindahan panas sebesar 42,74 % .

**Kata kunci :** *Double Pipe Heat Exchanger, Counter Flow, Efektivitas, Paralel Flow, Wavy Channel*

## ***ABSTRACT***

### ***Performance Analysis of Double-Pipe Heat Exchangers in Wavy Channel Type Lithium Ion Battery Cooling Systems***

*Arranged by:*

**Andreas Simanjuntak**

**3331190068**

*Thermal management is needed to control battery temperature to keep it in optimal condition. The cooling system used is a wavy channel and double pipe heat exchanger. Calculation of the effectiveness of the double pipe heat exchanger was carried out to determine its performance. In this research, the fluid used was nanofluid with varying concentrations of 0,1%, 0,3% and 0,5%. Variations in flow direction in the double pipe heat exchanger are considered, namely counter flow and parallel flow. The effect of variations in flow rate is taken into consideration, namely 0,3 LPM, 0,6 LPM and 0,9 LPM. Based on the calculation results, variations in flow direction affect the effectiveness of heat transfer in the double pipe heat exchanger. In variations in the opposite flow direction (counter flow), the highest heat transfer effectiveness is in the 0.5% nanofluid variation with a flow rate of 0,9 LPM, which is equal 59,7 %. In variations in the direction of flow in the same direction (parallel flow), the highest heat transfer effectiveness is in the nanofluid variation of 0,5% with a flow rate of 0,9 LPM with a heat transfer effectiveness value of 42,74 %..*

***Keywords :*** *Double Pipe Heat Exchanger, Counter Flow, Effectiveness, Paralel Flow, Wavy Channel*



# DAFTAR ISI

	<b>halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Baterai .....	4
2.2 Lithium – Ion Battery (Li-ion atau LIB) .....	4
2.2.1 Bagian Utama Lithium-Ion Battery .....	5
2.2.2 Prinsip Kerja Lithium-Ion Battery .....	7
2.3 Karakteristik Termal <i>Lithium-Ion Battery</i> .....	8
2.4 Konsep Dasar Perpindahan Kalor .....	9
2.4.1 Hukum Termodinamika .....	10

2.4.2 Konduksi.....	10
2.4.3 Konveksi.....	11
2.4.4 Radiasi.....	12
2.5 <i>Heat Exchanger</i> .....	12
2.6 Jenis – jenis <i>Heat Exchanger</i> .....	13
2.7 <i>Double Pipe Heat Exchanger</i> .....	14
2.8 Persamaan Dasar <i>Heat Exchanger</i> .....	17
2.8.1 Panas yang Diserap.....	17
2.8.2 <i>Log Mean Temperature Difference (LMTD)</i> .....	17
2.8.3 Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U).....	19
2.8.4 Panas Aktual dan Perpindahan Panas Maksimal.....	20
2.8.5 Nilai efektivitas.....	20
2.9 <i>Cellulose Nanocrystal – Ethylene Glycol Nanofluid Coolant</i> .....	21

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2 Rancangan Sistem Pendingin Baterai.....	23
3.3 Alat dan Bahan yang digunakan.....	25
3.4 Penempatan Titik Pengukuran.....	32
3.5 Prosedur Pengujian.....	33
3.4.1 Prosedur Kalibrasi Termokopel.....	33
3.4.2 Prosedur Instalasi Rangkaian Alat.....	34
3.4.3 Prosedur Pengujian Alat.....	34

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Pengambilan Data.....	44
4.1.1 Grafik Data Pengujian.....	44
4.1.2 Tabel Data Pengujian.....	45

4.2 Perhitungan untuk Larutan Nanofluid Konsentrasi 0,1% .....	46
4.2.1 Variasi Arah Aliran Berlawanan Arah ( <i>Counter Flow</i> ).....	47
4.2.2 Variasi Arah Aliran Searah ( <i>Paralel Flow</i> ).....	54
4.3 Perhitungan untuk Larutan Nanofluid Konsentrasi 0,3 % .....	61
4.3.1 Variasi Arah Aliran Berlawanan Arah ( <i>Counter Flow</i> ).....	61
4.3.2 Variasi Arah Aliran Searah ( <i>Paralel Flow</i> ).....	68
4.4 Perhitungan untuk Larutan Nanofluid Konsentrasi 0,5% .....	75
4.4.1 Variasi Arah Aliran Berlawanan Arah ( <i>Counter Flow</i> ).....	75
4.4.2 Variasi Arah Aliran Searah ( <i>Paralel Flow</i> ).....	82
4.5 Analisa Hasil Perhitungan .....	89

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	97
5.2 Saran.....	98

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

Lampiran 1. Hasil pengambilan data

Lampiran 2. Dokumentasi hasil pengujian

## DAFTAR GAMBAR

### halaman

<b>Gambar 2. 1</b> Pelat-pelat Positif dan Plat Negatif.....	2
<b>Gambar 2. 2</b> Baterai Lithium Ion .....	5
<b>Gambar 2. 3</b> Double Pipe Heat Exchanger.....	15
<b>Gambar 2. 4</b> Tipe-Tipe Aliran Fluida pada Double Pipe Heat Exchanger.....	16
<b>Gambar 2. 5</b> Paralel Flow .....	18
<b>Gambar 2. 6</b> Analogi Temperatur Paralel Flow .....	18
<b>Gambar 2. 7</b> Counter Flow .....	19
<b>Gambar 2. 8</b> Analogi Temperatur Counter Flow .....	19
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian .....	23
<b>Gambar 3. 2</b> Skema alat uji sistem pendinginan .....	24
<b>Gambar 3. 3</b> Wavy mini channel .....	25
<b>Gambar 3. 4</b> Rangkaian baterai .....	25
<b>Gambar 3. 5</b> Battery Management System (BMS).....	26
<b>Gambar 3. 6</b> Rangkaian beban lampu.....	26
<b>Gambar 3. 7</b> Rotameter.....	27
<b>Gambar 3. 8</b> Battery Indicator .....	27
<b>Gambar 3. 9</b> Double pipe heat exchanger.....	28
<b>Gambar 3. 10</b> Selang .....	28
<b>Gambar 3. 11</b> Larutan Nanofluid.....	29
<b>Gambar 3. 12</b> Coolant.....	29
<b>Gambar 3. 13</b> Pompa air .....	30
<b>Gambar 3. 14</b> Termokopel Merek HTI .....	30
<b>Gambar 3. 15</b> Termokopel Merek Mastech .....	30
<b>Gambar 3. 16</b> Hygrometer .....	31
<b>Gambar 3. 17</b> Charger 48 V.....	31
<b>Gambar 3. 18</b> Penempatan titik pengukuran pada variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow).....	32
<b>Gambar 3. 19</b> Penempatan titik pengukuran pada variasi arah .....	32

<b>Gambar 4. 1</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,3 LPM .....	23
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,6 LPM .....	37
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,9 LPM .....	37
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,3 LPM .....	38
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,6 LPM .....	38
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,9 LPM .....	39
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,3 LPM .....	39
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,6 LPM .....	40
<b>Gambar 4. 9</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,9 LPM .....	40
<b>Gambar 4. 10</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,3 LPM .....	41
<b>Gambar 4. 11</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,6 LPM .....	41
<b>Gambar 4. 12</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,9 LPM .....	42
<b>Gambar 4. 13</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,3 LPM .....	42
<b>Gambar 4. 14</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,6 LPM .....	43
<b>Gambar 4. 15</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,9 LPM .....	43
<b>Gambar 4. 16</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,3 LPM .....	44

<b>Gambar 4. 17</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,6 LPM .....	44
<b>Gambar 4. 18</b> Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran paralel flow pada laju aliran 0,9 LPM .....	45
<b>Gambar 4. 19</b> Grafik Perbandingan LMTD terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran Counter Flow .....	90
<b>Gambar 4. 20</b> Grafik Perbandingan LMTD terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran Paralel Flow .....	91
<b>Gambar 4. 21</b> Grafik Perbandingan Nilai Perpindahan Panas terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran Counter Flow .....	92
<b>Gambar 4. 22</b> Grafik Perbandingan Nilai Perpindahan Panas terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran Paralel Flow .....	93
<b>Gambar 4. 23</b> Grafik Perbandingan Nilai Efektivitas terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran Counter Flow .....	94
<b>Gambar 4. 24</b> Grafik Perbandingan Nilai Efektivitas terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran Paralel Flow .....	95

## DAFTAR TABEL

	<b>halaman</b>
<b>Tabel 3. 1</b> Klasifikasi Double pipe heat exchanger .....	28
<b>Tabel 3. 2</b> Komposisi nanofluid dalam 1 liter .....	29
<b>Tabel 3. 3</b> Klasifikasi Termokopel.....	31
<b>Tabel 4. 2</b> Data Double Pipe Heat Exchanger.....	47
<b>Tabel 4. 3</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,3 LPM .....	47
<b>Tabel 4. 4</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,6 LPM .....	50
<b>Tabel 4. 5</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,9 LPM .....	52
<b>Tabel 4. 6</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran searah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,3 LPM.....	54
<b>Tabel 4. 7</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,6 LPM.....	57
<b>Tabel 4. 8</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,1% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,9 LPM.....	59
<b>Tabel 4. 9</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,3 LPM.....	61
<b>Tabel 4. 10</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,6 LPM.....	63
<b>Tabel 4. 11</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3% dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,9 LPM.....	66
<b>Tabel 4. 12</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran searah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,3 LPM .....	68
<b>Tabel 4. 13</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran searah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,6 LPM.....	70
<b>Tabel 4. 14</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran searah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,9 LPM .....	73
<b>Tabel 4. 15</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,3 LPM.....	75

<b>Tabel 4. 16</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,6 LPM.....	77
<b>Tabel 4. 17</b> Data masukan untuk perhitungan pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,9 LPM.....	80
<b>Tabel 4. 18</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (counter flow) dan variasi laju aliran 0,9 LPM.....	82
<b>Tabel 4. 19</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,6 LPM.....	84
<b>Tabel 4. 20</b> Data masukan untuk perhitungan pada variasi nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (paralel flow) dan variasi laju aliran 0,9 LPM.....	87
<b>Tabel 4. 21</b> Hasil Perhitungan Data Nanofluid.....	89



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kendaraan listrik semakin mendapatkan preferensi publik, terlihat dengan mulai marak penjualannya. Sebagai alternatif pengganti kendaraan berbahan bakar fosil, kendaraan listrik terus mengalami perbaikan untuk bisa menjawab tantangan yang ada dipasar. Tantangan teknis yang banyak menjadi perhatian kendaraan listrik adalah terkait dengan teknologi baterai. Baterai lithium ion (LIBs) merupakan energi penyimpan listrik yang berasal dari energi kimia dan menjadi kandidat terkuat untuk aplikasi otomotif masa depan berbasis listrik karena mempunyai keunggulan pengisian daya lebih cepat, tahan lama, dan memiliki kepadatan daya lebih tinggi ( Li et al, 2019).

Kendala yang dialami paket baterai adalah manajemen termal karena berpengaruh terhadap faktor umur pakai dan keamanan. Pada sebuah pengujian baterai Sony 18650, kapasitas hilang lebih dari 60% setelah 800 siklus pada temperature 50 °C dan 70% setelah 500 siklus pada temperature 55 °C. Dengan demikian, manajemen termal yang efektif diperlukan untuk pengendalian suhu baterai di bawah suhu yang ditentukan seperti 50°C, terutama untuk baterai tua dengan lebih banyak menghasilkan panas (Menale et al, 2019).

Kebutuhan akan pengisian baterai cepat menjadi salah satu pilihan untuk mempercepat waktu saat pengisian sehingga waktu yang dihabiskan dalam mengisi baterai mendekati dengan waktu yang diperlukan untuk mengisi bahan bakar fosil. Selain itu kapasitas baterai yang hanya mampu menempuh jarak tertentu membuatnya sering melakukan pengecasan sehingga perlu adanya pengisian cepat atau stasiun penukaran baterai. Tetapi dengan pengisian cepat baterai akan berdampak pada peningkatan termal yang terjadi pada kemasan baterai. Sehingga perlu dibuatkan desain sistem pendingin yang mampu mengurangi panas yang terjadi pada saat pengisian ( Xie et al, 2020).

Pada kondisi baterai digunakan, diperlukan sistem pendingin baterai dengan memanfaatkan perpindahan panas secara konduksi dengan jenis pendingin. Ada beberapa jenis pendingin yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain *nanofluids*, air dan fluida udara yang akan dialirkan pada *wavy mini channel*. Tipe *Wavy Mini Channel* adalah perangkat pendingin yang terbuat dari alumunium untuk memenuhi kebutuhan pendinginan perangkat elektronik yang berbentuk paket sirkuit bergelombang.

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis akan menganalisis penurunan suhu pada baterai lithium ion 18658 yang dirangkai menjadi 13 baterai secara seri. Rangkaian baterai diapit oleh dua *wavy mini channels* yang dialiri dengan fluida pendingin melalui *double pipe heat exchanger*. Pada penelitian ini *heat exchanger* yang digunakan adalah jenis *double pipe heat exchanger* dengan pembuatan desain yang optimal dan melakukan analisis termal yang terjadi untuk melihat pengaruh manajemen termal pada baterai yang akan digunakan. Variasi arah aliran, laju aliran dan konsentrasi fluida pada *heat exchanger* menjadi fokus penelitian, Adapun variasi aliran yang digunakan yaitu aliran searah (*parallel flow*) dan aliran berlawanan arah (*counter flow*). Laju aliran yang akan divariasikan adalah 0,3 LPM, 0,6 LPM dan 0,9 LPM dan konsentrasi fluida yang digunakan adalah 0,1 %, 0.3% dan 0,5%.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja *double pipe heat exchanger* dalam sistem pendingin lithium ion tipe *wavy channel* berdasarkan variasi arah aliran, variasi laju aliran dan variasi konsentrasi nanofluid.
2. Bagaimana analisis efektivitas perpindahan panas terhadap kinerja *double pipe heat exchanger* pada sistem pendingin lithium ion tipe *wavy channel* berdasarkan arah variasi arah aliran, variasi laju aliran dan variasi konsentrasi nanofluid.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Di bawah ini merupakan tujuan penelitian yang berdasarkan dari rumusan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *double pipe heat exchanger* dalam sistem pendingin lithium ion tipe *wavy channel* berdasarkan variasi arah aliran, variasi laju aliran dan variasi konsentrasi nanofluid.
2. Menganalisis efektivitas perpindahan panas terhadap kinerja *double pipe heat exchanger* pada sistem pendingin lithium ion tipe *wavy channel* berdasarkan arah variasi arah aliran, variasi laju aliran dan variasi konsentrasi nanofluid.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Di bawah ini merupakan manfaat penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat menyediakan informasi mengenai perpindahan panas *double pipe heat exchanger* pada sistem pendingin baterai lithium ion tipe *wavy channel* berdasarkan variasi arah aliran, variasi laju aliran dan variasi konsentrasi nanofluid.
2. Penelitian ini dapat menjadi acuan untuk penelitian di masa yang akan datang.

### 1.5 Batasan Masalah

Berikut ini merupakan batasan masalah yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

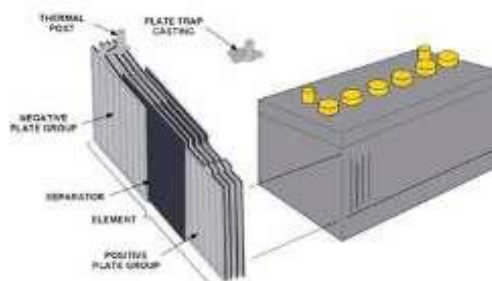
1. Jenis *heat exchanger* yang digunakan adalah *double pipe heat exchanger*.
2. Variasi arah aliran fluida pada *double pipe heat exchanger* yaitu *parallel flow* dan *counter flow*.
3. Variasi laju aliran yang diuji adalah 0,3 LPM, 0,6 LPM dan 0,9 LPM.
4. Penelitian ini menggunakan fluida pendingin nanofluid dengan variasi konsentrasi 0.1%, 0.3% dan 0.5%.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Baterai

Baterai merupakan suatu peralatan elektronik yang bisa mengkonversi energi. Baterai dibuat dari sejumlah elemen yang terpisah kemudian disatukan pada kotak karet keras atau plastik. Komponen dasar dari tiap sel membentuk pelat-pelat positif dan negatif, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1 Pelat negatif dilapisi dengan timbal, berwarna kelabu. Sementara pelat positif dilapisi dengan timbal peroksida yang berwarna coklat. Beberapa pelat positif dan beberapa pelat negatif dihubungkan menjadi kelompok – kelompok pelat. Pada beberapa baterai, dalam kelompok pelat negatif selalu terdapat lebih banyak satu pelat daripada pelat positif dalam kelompok pelat positif (Nasution, 2021).



**Gambar 2. 1** Pelat-pelat Positif dan Plat Negatif

(Sumber : Nasution, 2021)

#### 2.2 Lithium – Ion Battery (Li-ion atau LIB)

Jenis baterai ini pertama kali pada tahun 1976 yang diperkenalkan oleh peneliti dari Exxon yang bernama M.S. Whittingham yang melakukan penelitian dengan judul “*Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry*”. Beliau ini menjelaskan mengenai proses interkalasi pada baterai lithium ion menggunakan titanium (II) sulfide sebagai katoda dan logam

titanium sebagai anoda. Proses interkalasi adalah proses perpindahan *ion lithium* dari anoda diganti dengan material lain yaitu grafit. Hal ini dilakukan oleh Rachid Yazami dan kawan kawan di *Grenoble Institute of Technology* (INPG) dan *French National Centre for Scientific Research* (CNSR) (Krysten Oates, 2010).

Menurut Fadli Rohman pada 2012 dijelaskan pada penelitiannya bahwa *Lithium-Ion Battery* atau baterai lithium ion merupakan salah satu jenis baterai sumber arus sekunder yang dapat diisi ulang. Pada saat ini, *Lithium-Ion Battery* menjadi baterai yang sangat dibutuhkan antara lain untuk kebutuhan energi listrik pada telepon seluler (ponsel), mp3 player dan lain-lain. Selain itu, saat ini *Lithium-Ion Battery* sangat dibutuhkan khususnya untuk kendaraan yang sumber energi listrik/*electric vehicle*. *Lithium-Ion Battery* ini memiliki daya yang tinggi serta bobot yang ringan dan dapat digunakan berkali – kali sehingga banyak digunakan oleh para produsen sebagai sumber tenaga alat elektroniknya.



**Gambar 2. 2** Baterai Lithium Ion

### 2.2.1 Bagian Utama Lithium-Ion Battery

Lithium-Ion Battery pada umumnya memiliki empat komponen utama yaitu elektroda positif (anoda), elektroda negatif (katoda), elektrolit dan separator.

#### a. Elektroda Negatif (Anoda)

Anoda merupakan elektroda yang berfungsi sebagai pengumpul ion lithium serta merupakan material aktif. Parameter pengembangan dari material untuk digunakan sebagai anoda antara

lain kepadatan energi yang dihasilkan serta siklus pemakaian atau *cyclability*. Material yang biasa digunakan sebagai anoda antara lain *lithium titanium oxide* (LTO) dengan kepadatan energi yang dihasilkannya 175 A.h/kg. Material ini aman dipakai serta memiliki tingkat siklus pemakaian yang cukup lama. Pengembangan material pada anoda ini terus berlanjut seiring penelitian mengenai sifat-sifat suatu material. (Fadli Rohman, 2012).

b. Elektroda Positif (Katoda)

Katoda merupakan elektroda yang fungsinya sama seperti anoda yaitu pengumpul ion serta material aktif. Namun perbedaannya adalah katoda merupakan elektroda positif. Beberapa karakteristik yang harus dipenuhi suatu material yang digunakan sebagai katoda antara lain material tersebut terdiri dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktivitas yang tinggi seperti logam, memiliki kerapatan energi yang tinggi, memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah strukturnya atau terdegradasi baik saat pemakaian maupun pengisian ulang), harganya murah dan ramah lingkungan.

c. Elektrolit

Elektrolit adalah bagian yang berfungsi sebagai penghantar ion lithium dari anoda ke katoda atau sebaliknya. Karakteristik elektrolit yang penting untuk diperhatikan antara lain konduktivitas, aman (tidak beracun) serta harganya murah. Elektrolit ini terbagi dalam dua jenis yaitu elektrolit cair dan elektrolit padat. Kedua jenis ini memiliki kelebihan dan kekurangannya. Kelebihan dari elektrolit cair antara lain memiliki konduktivitas ion yang besar, harganya murah dan aman. Namun kekurangannya adalah memiliki performa siklus pemakaian yang rendah (tidak tahan lama) yaitu hanya berkisar 25 kali siklus dan dapat mengurangi kerapatan energi. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai elektrolit cair antara lain  $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , garam  $\text{LiNO}_3$ , garam  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,

LiPF<sub>6</sub>. Elektrolit padat sendiri keuntungannya yaitu memiliki konduktivitas yang besar serta dapat tahan lama dibandingkan dengan elektrolit cair. Jenis elektrolit padat ini berupa keramik atau polimer organik. Contoh material yang dipakai untuk elektrolit pada tantara lain yaitu (La,Li)TiO<sub>3</sub> (Fadli Rohman, 2012).

d. Separator

Separator adalah suatu material berpori yang terletak diantara anoda dan katoda berfungsi untuk mencegah agar tidak terjadi hubungan singkat dan kontak antara katoda dan anoda. Selain itu separator harus dapat dilewati oleh ion lithium dengan baik. Tidak hanya sebagai pembatas antar elektroda, separator memiliki peranan penting dalam proses penghasilan listrik, pengisian ulang dan tentunya keamanan pada baterai lithium ion sendiri. Beberapa hal yang penting untuk memilih material agar dipilih sebagai separator antara lain material tersebut memiliki bersifat insulator, memiliki hambatan listrik yang kecil, kestabilan mekanik (tidak mudah rusak), memiliki sifat hambatan kimiawi untuk tidak mudah terdegradasi dengan elektrolit serta memiliki ketebalan lapisan yang seragam atau sama di seluruh permukaan. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai separator antara lain *polyolefins* (PE dan PP), *Polyvinylidene fluodire* (PVdF), PTFE (Teflon), PVC dan *polyethylene oxide* (Fadli Rohman, 2012).

### 2.2.2 Prinsip Kerja Lithium-Ion Battery

*Lithium-Ion Battery* tersusun dari empat komponen penting yaitu anoda, katoda, elektrolit serta separator. Pada proses pemakaian listrik (*discharging*) elektron dari anoda mengalir ke katoda melalui kabel konektor sedangkan *lithium* yang berada pada sistem (di dalam baterai) lepas dari anoda karena kekurangan elektron untuk berpindah menuju katoda melalui elektrolit. Pada proses pengisian (*charging*), elektron dari katoda mengalir menuju anoda sedangkan *ion lithium*

dalam sistem berpindah dari katoda menuju anoda melalui elektrolit. (Fadli Rohman, 2012).

### 2.3 Karakteristik Termal *Lithium-Ion Battery*

Penggunaan *Lithium-Ion Battery* sebagai sumber energi tentunya tidak terlepas dari panas selama siklus pengisian dan pengosongan yang terus menerus. Oleh karena itu, salah satu perhatian utama dalam pengembangan pemakaian *baterai lithium-ion* adalah manajemen termal. Masalah termal pada baterai akan memberikan dampak negatif pada kinerja baterai, masa pakai dan keamanan baterai. Manajemen termal diperlukan untuk mengatasi masalah ini ( Martellucci at al, 2021).

Kinerja sel baterai dapat berubah secara dramatis dengan suhu. Pada suhu rendah, baterai lithium terkena pelapisan lithium pada anoda yang menyebabkan penurunan permanen dalam kapasitas. Pada suhu yang tinggi, bahan kimia aktif dapat rusak yang juga berarti merusak baterai. Diantara dua Batasan suhu ini, kinerja sel umumnya meningkat dengan suhu. Baterai lithium ion rusak ketika suhu operasi turun. Jadi, untuk keduanya suhu rendah dan suhu tinggi, semakin jauh suhu operasi dari suhu ruang semakin besar terjadinya penurunan siklus baterai.

Menurut Guanchen Liu dan Lijun Zhang pada jurnal *Research on the Thermal Characteristics of an 18650 Lithium-Ion Battery Based on an Electrochemical-Thermal Flow Coupling Model* bahwa laju kenaikan suhu tertinggi dalam baterai adalah saat siklus pengisian dan pengosongan pertama. Pada akhir siklus pengisian dan pengosongan baterai, suhu mencapai maksimum. Pada awal siklus pengosongan berikutnya, panas internal yang dihasilkan baterai lebih kecil dibandingkan pembuangan panas eksternal, sehingga suhu rata-rata baterai menurun sebentar. Kemudian, laju pemanasan baterai meningkat dan suhu terus meningkat. Setelah sekitar tiga siklus pengisian dan pengosongan, kenaikan suhu baterai tidak terlihat jelas. Hal ini karena pertukaran panas antara baterai dan bagian luar pada dasarnya stabil, laju pemanasan sama dengan laju pembuangan panas, dan kenaikan suhu baterai sangat kecil.



Perubahan laju pengisian dan pengosongan memiliki efek non-linear pada suhu baterai, dan laju pengisian dan pengosongan yang tinggi memiliki pengaruh yang lebih besar pada suhu baterai. Dalam kondisi siklus pengisian dan pengosongan kontinu dalam waktu singkat, laju kenaikan suhu paling tinggi pada proses pengisian dan pengosongan pertama. Setelah beberapa siklus, suhu baterai stabil. Selain siklus pengisian dan pengosongan, ketebalan elektroda pada baterai juga mempengaruhi karakteristik termal pada *Lithium-Ion Battery*. Ketebalan elektroda baterai berbanding lurus dengan kapasitas baterai dan kenaikan suhu. (Liu & Zhang, 2021).

#### **2.4 Konsep Dasar Perpindahan Kalor**

Perpindahan panas adalah ilmu untuk mengetahui perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu di antara suatu material. Kalor dikenal sebagai benda yang bisa berpindah dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah. Di dalam proses perpindahan energi tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Oleh karena itu ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk mengetahui laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat diartikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperature pada daerah tersebut.

Kalor adalah bentuk energi yang dirasakan oleh manusia. Energi mewujudkan keadaan di mana jumlah energi yang dipindahkan antara manusia dan persekitarannya mencapai keseimbangan secara termal. Terdapat tiga mekanisme perpindahan kalor, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan kalor merupakan sifat dasar alam persekitaran, yaitu Hukum Termodinamika. Hukum ini menyatakan bahwa apabila terdapat suatu Kawasan dengan kandungan kalor yang tinggi, seperti suhu yang tinggi dan kandungan suhu yang rendah akan terdapat kecenderungan kalor yang akan berpindah dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah.

### 2.4.1 Hukum Termodinamika

Termodinamika adalah ilmu yang berkaitan dengan aliran kalor yang berhubungan dengan kerja mekanik.

#### 1. Hukum Pertama Termodinamika

Adalah merupakan prinsip kekekalan energi. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya.

#### 2. Hukum Kedua Termodinamika

Perpindahan kalor atau energi dapat terjadi secara spontan hanya dalam satu arah, dari benda yang lebih panas ke benda yang lebih dingin.

Dari suhu yang lebih tinggi kalor dapat mengalir menuju zona yang bersuhu lebih rendah dengan tiga cara ; konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan ini dapat diukur dengan 2 cara yaitu dengan

- a. Sebagai aliran total dalam satuan waktu (kadar aliran kalor) melalui suatu luasan tertentu sebuah benda atau ruang.
- b. Sebagai berat jenis dari aliran ini, yaitu kadar aliran per-satuan luas (berat jenis fluks).

Dan mempunyai dua kuantitas yaitu :

- a. Kadar aliran yang melalui sebuah bidang yaitu jumlah energi yang melaluinya dalam satuan waktu ( $J/s$  – Joule/second -W(Watt)).
- b. Berat jenis fluks adalah jumlah energi yang melalui sebuah unit luasan dari sebuah benda atau ruang dalam satuan waktu diukur dalam  $Watt/m^2$ .

### 2.4.2 Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan kalor dari suatu bagian benda atau material ke bagian lainnya. Pada perpindahan kalor secara konduksi tidak ada bahan dari logam yang berpindah. Menurut Joseph

Fourier (1822) yang telah mempelajari proses perpindahan panas secara konduksi telah merumuskan hukumnya yang berkaitan dengan konduksi. Banyak faktor yang mempengaruhi peristiwa konduksi. Diantaranya pengaruh luas penampang berbeda, pengaruh geometri, pengaruh permukaan kontak, pengaruh adanya insulasi dan lain-lainnya. Konduksi panas terjadi melalui transfer energi dan getaran antar molekul atau pergerakan elektron bebas. Konduksi sangat penting dalam logam dan terjadi tanpa pergerakan materi yang dapat diamati (Doran M. Pauline,2013).

Dalam proses perpindahan kalor secara konduksi terdapat laju hantaran kalor. Laju hantaran kalor menyatakan seberapa cepat kalor dihantarkan melalui medium itu. Terdapat besaran – besaran yang mempengaruhi dalam laju hantaran kalor yaitu luas permukaan benda, panjang atau tebal benda, perbedaan suhu antar ujung benda dan juga dipengaruhi oleh konduktivitas termal (Holman, 1995).

### **2.4.3 Konveksi**

Konveksi dapat dimaksudkan sebagai perpindahan kalor melalui fluida cair dan gas. Konveksi merupakan suatu mekanisme di mana energi kalor dipindahkan oleh gabungan benda mengalir yaitu gas atau fluida cair. Oleh karena itu, konveksi melibatkan gerakan atau aliran bahan. Konveksi oleh udara tidak boleh berlaku tanpa adanya pergerakan udara tetapi pergerakan udara dapat berlaku tanpa perpindahan kalor.

Perpindahan kalor secara konveksi berlaku pada permukaan dinding, lantai dan atap atau pipa ataupun benda alir mengalir di luar batas bahan pejal pada suhu yang berbeda. Konveksi memerlukan pergerakan dalam skala makroskopis, oleh karena terbatas pada gas dan cairan. Konveksi alami terjadi ketika gradien suhu dalam sistem menghasilkan perbedaan kepadatan yang menghasilkan aliran. Dalam konveksi paksa, arus aliran digerakkan oleh zat eksternal seperti pengaduk atau pompa yang tidak bergantung pada gradien densitas. Tingkat perpindahan panas yang lebih tinggi dimungkinkan dengan

konveksi paksa dibandingkan dengan konveksi alami (Doran M. Pauline,2013).

#### **2.4.4 Radiasi**

Radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda – benda tersebut. Radiasi terpancar dalam bentuk gelombang dari semua material. Ketika radiasi diserap oleh material, maka material akan tampak panas (Doran M. Pauline,2013). Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperature yang dipindahkan melalui ruang antara dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpah suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan.

### **2.5 *Heat Exchanger***

*Heat Exchanger* adalah alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengubah temperatur dan fasa suatu jenis fluida. Proses tersebut terjadi dengan memanfaatkan proses perpindahan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah. *Heat exchanger* adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mentransfer kalor dari *heat exchanger* secara konveksi. Dalam praktek fungsi penukar kalor yang dipergunakan di industri lebih diutamakan untuk menukarkan energi dua fluida (boleh sama zatnya) yang berbeda temperaturnya. Pertukaran energi dapat berlangsung melalui bidang atau permukaan perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluida bercampur). Beberapa hal yang harus ditinjau dalam penggunaan alat penukar panas yaitu proses perpindahan panas dari kedua fluida tersebut, jumlah fluida yang digunakan, arah fluida yang mengalir, serta bentuk bidang kontak yang digunakan untuk memindahkan panas dari satu fluida ke fluida yang lainnya (Septian et al, 2021)

Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran fluida, sifat-sifat fisik (viskositas, konduktivitas termal, kapasitas kalor spesifik, dan lain – lain), beda

temperature antara kedua fluida, dan sifat permukaan bidang perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida. Walaupun fungsi penukar kalor adalah untuk menukarkan energi dua fluida atau dua zat, namun jenisnya banyak sekali. Hal ini terjadi karena biasanya desain penukar kalor harus menunjang fungsi utama proses yang akan terjadi di dalamnya.

Berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi, penukar kalor dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu tipe kontak langsung dan tipe tidak kontak langsung. Maksudnya adalah :

- a. Pada alat penukar kalor yang langsung, fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu. Contohnya adalah clinker cooler dimana antara clinker yang panas dengan udara pendingin berkontak langsung. Contoh yang lain adalah cooling tower untuk mendinginkan air pendingin kondenser pada instalasi mesin pendingin sentral atau PLTU, dimana antara air hangat yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak seperti layaknya air mancur.
- b. Pada alat penukar kalor yang tidak langsung, fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panas itu mempunyai media perantara seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Contoh dari penukar kalor seperti ini sering dijumpai antar lain radiator mobil, evaporator AC.

## 2.6 Jenis – jenis *Heat Exchanger*

Standar yang banyak dipergunakan dalam perancangan penukar kalor ini yaitu TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturer Association*) yaitu suatu asosiasi para pembuat penukar kalor di Amerika dan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). TEMA lebih banyak membahas mengenai

jenis penukar kalor, metode perhitungan kinerja dan kekuatannya (proses perancangan), istilah bagian-bagian dari penukar kalor dan dasar pemilihan dalam aplikasi penukar kalor untuk kebutuhan sehari-hari khususnya di industri. Sedangkan ASME lebih memuat masalah prosedur dasar bagaimana membuat penukar kalor serta standart bahan yang akan atau biasa dipergunakan. Kedua aturan atau prosedur tersebut tidak lain bertujuan untuk melindungi pengguna dari bahaya kerusakan dan kegagalan operasi. (Septian et al, 2021).

Berdasarkan TEMA secara garis besar jenis penukar kalor dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan pemakaiannya di industri yaitu :

- a. Kelas R : untuk pemakaian dengan kondisi kerja yang berat, misalnya untuk industri minyak dan kimia berat.
- b. Kelas C : yaitu yang dibuat untuk pemakaian umum (*general purpose*) yang dasar produksinya lebih memperhatikan aspek ekonomi dengan ukuran dan kapasitas pemindahan panas yang kecil.

Di dalam perancangan *heat exchanger* yang telah dilakukan oleh para akademisi, klasifikasi penukar kalor ini menjadi lebih luas karena dapat digolong-golongkan berdasarkan berbagai aspek yaitu antara lain ; Proses perpindahan kalor yang terjadi, tingkat kekompakan permukaan pemindah kalor, profil konstruksi permukaan, susunan aliran fluida, jumlah atau banyaknya fluida yang energinya ditukar, mekanisme perpindahan kalor yang dominan. Berdasarkan profil konstruksi permukaan, *heat exchanger* banyak dipergunakan antara lain dengan konstruksi tabung dan pipa (*shell and tube*), pipa bersirip (*tube with extendsurfaces/fins and tube*), *double pipe heat exchanger* dan penukar kalor pelat (*plate heat exchanger*).

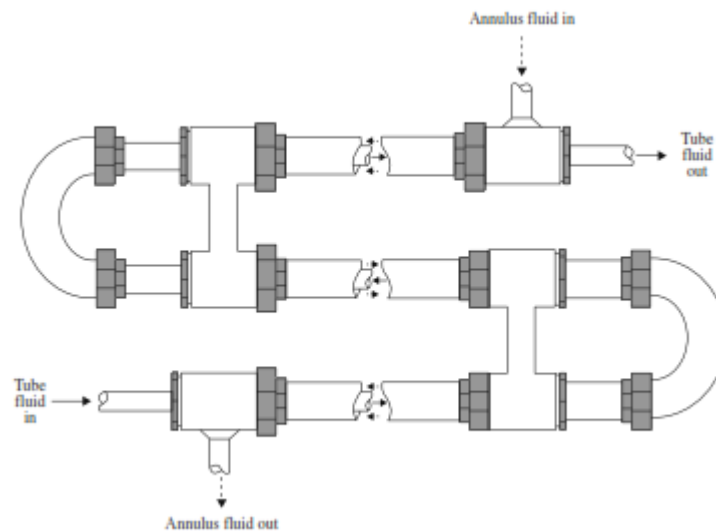
## **2.7 Double Pipe Heat Exchanger**

Menurut Anggoro & Arsana pada 2022, *double pipe heat exchanger* merupakan salah satu jenis alat penukar kalor yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Dipilihnya jenis ini karena konstruksi yang dimiliki oleh *double pipe heat exchanger* ini cukup sederhana, biaya pembuatan yang

relatif rendah dibandingkan dengan tipe *heat exchanger* yang lain, dan tidak memakan banyak tempat.

*Double pipe heat exchanger* atau alat penukar kalor jenis pipa ganda adalah salah satu alat penukar kalor yang proses perpindahannya terjadi secara tidak langsung (*indirect contact*) karena terdapat dinding pembatas antara fluida panas dengan fluida dingin yang mengalir. Tujuan dibatasinya kedua fluida oleh dinding adalah agar kedua jenis fluida tidak tercampur, sehingga yang terjadi di dalam sistem tersebut hanya transfer kalor saja (Anggoro & Arsana, 2022)

Penukar panas pipa ganda terdiri dari dua pipa logam, satu di dalam dan satu di luar seperti pada gambar 2.3 dibawah. Fluida yang satu mengalir melalui pipa bagian dalam sedangkan fluida yang lain mengalir di pipa yang lebih besar. Jika salah satu fluida lebih panas dari fluida yang lain, terjadilah perpindahan panas fluida panas menjadi dingin dan fluida dingin menjadi panas. (Doran M. Pauline, 2013).

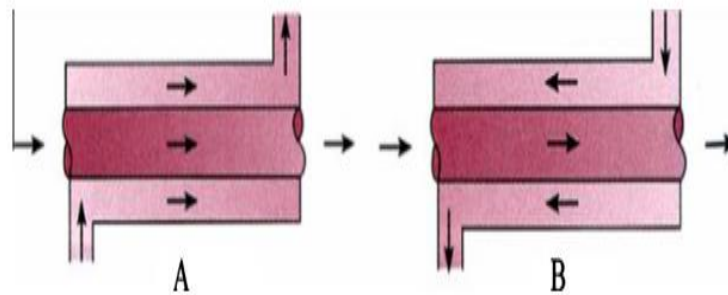


**Gambar 2. 3** Double Pipe Heat Exchanger

(Sumber : Doran M.Pauline, 2013)

Menurut Sampson pada tahun 2017, *double pipe heat exchanger* terdiri dari dua pipa konsentris, dimana terdapat dua jenis arah aliran fluida yaitu aliran searah dan aliran berlawanan arah. Kedua jenis aliran tersebut dapat mentransfer kalor dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih

dingin. Arah aliran fluida yang paling baik dalam menghasilkan efisiensi perpindahan panas yang paling besar adalah aliran yang berlawanan arah (*counterflow*), dikarenakan pada desain aliran tersebut, Ketika fluida yang lebih dingin menuju bagian pipa keluaran (*outlet*) maka fluida dingin tersebut akan langsung mengalami pemanasan oleh fluida yang lebih panas dan belum mengalami penurunan suhu (Omidi et al, 2017). Lain hal dengan tipe aliran paralel, di mana fluida akan dipanaskan ketika baru memakai *heat exchanger*, yang menyebabkan fluida panas akan mengalami pengurangan suhu pada saat fluida dingin melalui bagian pipa keluaran pada *heat exchanger*. Hal tersebut menyebabkan berkurangnya efisiensi perpindahan panas dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin.



**Gambar 2. 4** Tipe-Tipe Aliran Fluida pada *Double Pipe Heat Exchanger*

(A) Aliran searah (*Paralel Flow*), (B) Aliran berlawanan arah (*Counter Flow*)

(Sumber : Omidi et al, 2017)

Selain memiliki dua arah fluida, *double pipe heat exchanger* juga memiliki dua tipe konstruksi utama dalam menaikkan efisiensi perpindahan panas dari salah satu fluida ke fluida lainnya. Kedua jenis konstruksi tersebut adalah *multi-pass* dan *single-pass* seperti pada gambar berikut. Konstruksi yang paling sering digunakan di industri adalah jenis *multi-pass* karena efisiensi perpindahan panasnya lebih besar dan lebih baik dibandingkan dengan konstruksi *single-pass*.



## 2.8 Persamaan Dasar Heat Exchanger

### 2.8.1 Panas yang Diserap

Pada penelitian ini yang menjadi sasaran analisis adalah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika. Pada penukar panas, transfer panas atau mengalir dari fluida panas ke fluida dingin. Tingkat perpindahan panas adalah fungsi dari tingkat cairan massa aliran, perubahan suhu dan kapasitas panas spesifik dari cairan (pada suhu rata-rata) (Kern,1982).

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

$Q_h$  = Kalor yang dilepas fluida panas (Watt)

$m_h$  = Laju massa fluida panas (Kg/m)

$C_p$  = *Specific Heat Fluid* fluida panas (J/Kg.K)

$\Delta T_h$  = Selisih suhu masuk dan suhu keluar fluida panas (K)

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

$Q_c$  = Kalor yang diterima fluida dingin (Watt)

$m_c$  = Laju massa fluida dingin (Kg/m)

$C_p$  = *Specific Heat Fluid* fluida dingin (J/Kg.K)

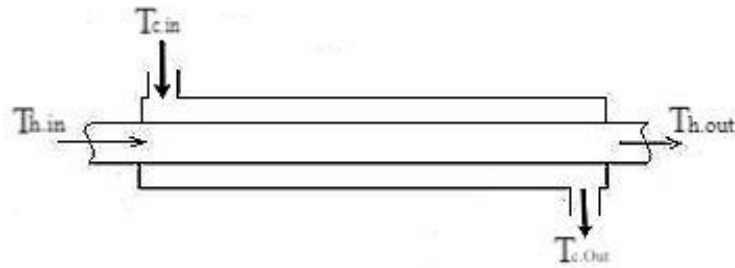
$\Delta T_c$  = Selisih suhu masuk dan suhu keluar fluida dingin (K)

Setelah mendapatkan Q yang dilepas/diterima akan  $Q_{average}$  dengan merata-rata  $Q_h$  dan  $Q_c$  (Hardjono, 2023).

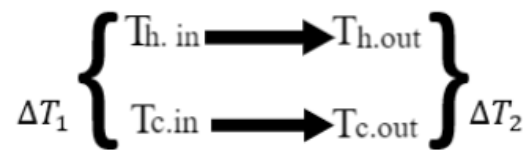
### 2.8.2 Log Mean Temperature Difference (LMTD)

*Log Mean Temperature Difference* (LTMD) atau perbedaan temperature rata-rata didefinisikan sebagai menghitung perbedaan temperature yang terjadi dalam alat penukar kalor. Untuk menentukan LMTD tergantung jenis aliran yang diaplikasikan pada *double pipe*

*heat exchanger*. Berikut adalah perhitungan LMTD untuk aliran searah (*parallel flow*).



**Gambar 2. 5** *Paralel Flow*



**Gambar 2. 6** Analogi Temperatur *Paralel Flow*

Maka Persamaannya adalah :

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$= \frac{(T_{h.in} - T_{c.in}) - (T_{h.out} - T_{c.out})}{\ln\left[\frac{(T_{h.in} - T_{c.in})}{(T_{h.out} - T_{c.out})}\right]}$$

Keterangan :

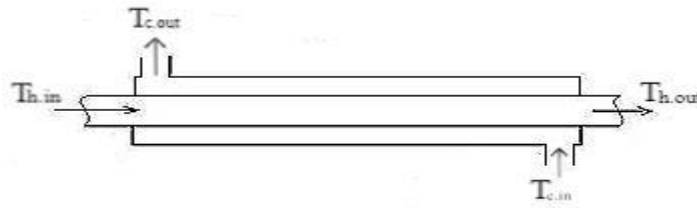
$T_{h.in}$  = Suhu fluida panas masuk (K)

$T_{h.out}$  = Suhu fluida panas keluar (K)

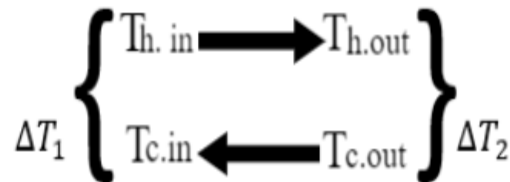
$T_{c.in}$  = Suhu fluida dingin masuk (K)

$T_{c.out}$  = Suhu fluida dingin keluar (K)

Berikut adalah perhitungan untuk LMTD untuk aliran berlawanan arah (*counter flow*).



**Gambar 2. 7 Counter Flow**



**Gambar 2. 8 Analogi Temperatur Counter Flow**

Maka persamaannya adalah :

$$\begin{aligned}
 LTMD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[ \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \dots\dots\dots(2.4) \\
 &= \frac{(T_{h.in} - T_{c.out}) - (T_{h.out} - T_{c.in})}{\ln \left[ \frac{(T_{h.in} - T_{c.out})}{(T_{h.out} - T_{c.in})} \right]}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$T_{h.in}$  = Suhu fluida panas masuk (K)

$T_{h.out}$  = Suhu fluida panas keluar (K)

$T_{c.in}$  = Suhu fluida dingin masuk (K)

$T_{c.out}$  = Suhu fluida dingin keluar (K)

**2.8.3 Koefisien Perpindahan Panas Overall rata-rata (U)**

Kemudian dari nilai LTMD digunakan untuk menentukan koefisien perpindahan panas overall (U) dengan persamaan :

$$U_{av} = \frac{Q_{av}}{A \times LTMD} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$U_{av}$  = Koefisien perpindahan panas overall rata-rata ( $W/m^2K$ )

$Q_{av}$  = Kalor yang dilepas/diterima rata-rata (Watt)

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ )

$LTMD$  = Selisih suhu rata-rata logaritmik (K)

#### 2.8.4 Panas Aktual dan Perpindahan Panas Maksimal

Langkah selanjutnya setelah nilai LMTD didapatkan, maka nilai LMTD digunakan untuk mencari Panas aktual ;

$$q = U \cdot A \cdot \Delta_{LMTD} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

$q$  = Panas Aktual (W)

$U$  = Koefisien Perpindahan Panas rata-rata (W/m<sup>2</sup> K)

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)

$LMTD$  = Selisih suhu rata-rata logaritmik (K)

Langkah selanjutnya adalah menghitung panas maksimal :

$$q_{max} = C_{min}(Th_{inlet} - Tc_{inlet}) \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

$q_{max}$  = Perpindahan panas maksimal (W)

$C_{min}$  = Kalor minimum (W/K)

$Th_{inlet}$  = Temperatur masukan nanofluid (K)

$Tc_{inlet}$  = Temperatur masukan coolant (K)

#### 2.8.5 Nilai efektivitas

Berikut adalah rumus untuk mencari nilai efektivitas untuk keda variasi arah aliran :

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  =Efektivitas (%)

$q$  = Panas aktual (W)

$q_{max}$  = Perpindahan panas maksimal (W)

## **2.9 Cellulose Nanocrystal – Ethylene Glycol Nanofluid Coolant**

*Cellulose Nanocrystal* (CNC) merupakan material nano yang berasal dari serat selulosa alami yang memiliki jumlah kristal yang tinggi. Serat selulosa dapat diperoleh dari tumbuhan, hewan dan bakteri. CNC memiliki sifat yang ramah lingkungan, dimensi nano dan sifat mekanik yang baik.

Menurut Laela & Hairunnisa pada tahun 2021, *Ethylene glycol* adalah senyawa organik yang tidak berwarna, tidak berbau serta berwujud cairan. Pada umumnya etilen glikol digunakan untuk tambahan serat pada polyester, wadah yang menggunakan PET, *antifreeze* dan pendingin pada mesin.

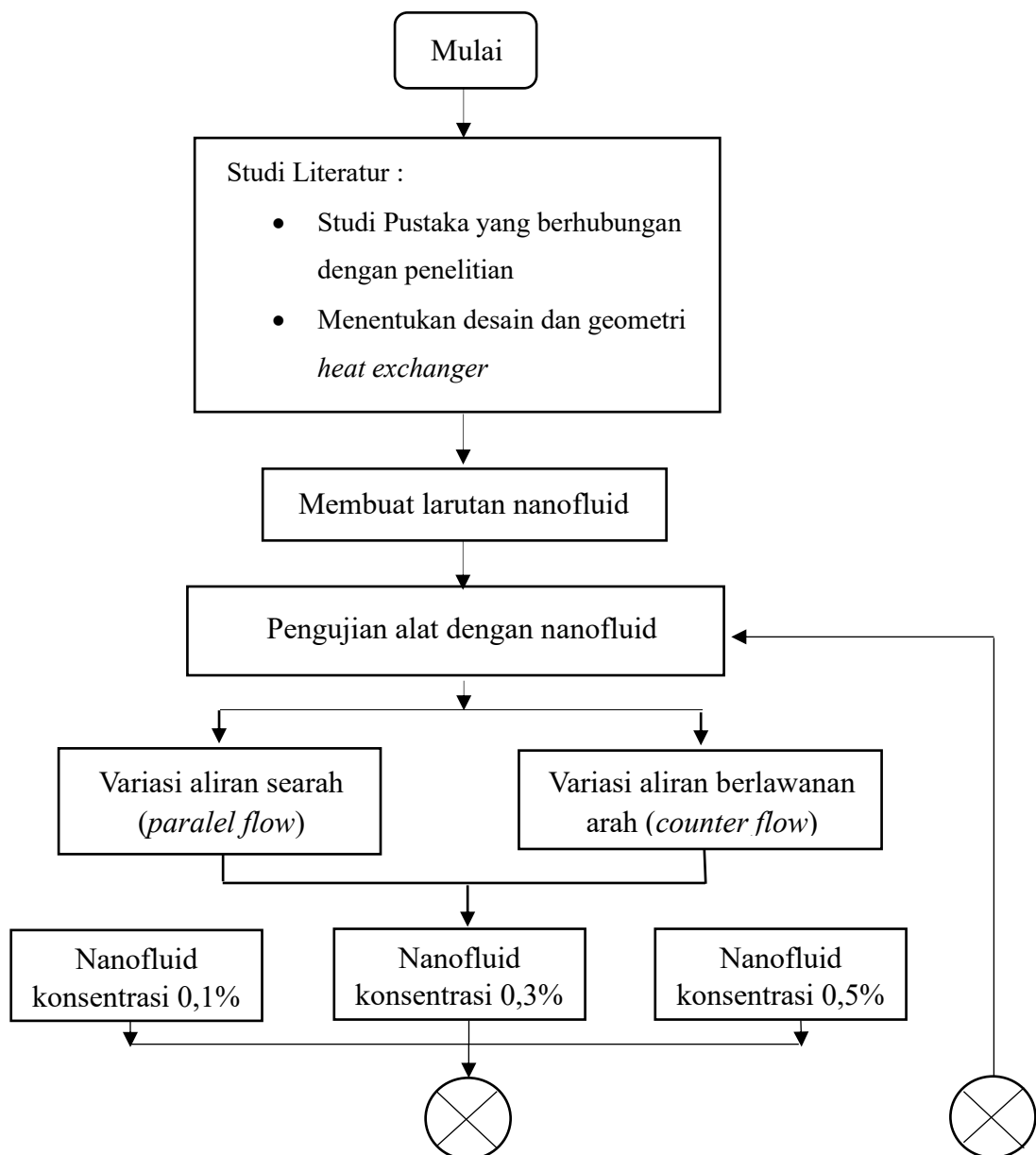
*Cellulose Nanocrystal-Ethylene Glycol Nanofluid Coolant* adalah larutan fluida yang akan digunakan untuk mendinginkan baterai. Larutan ini adalah campuran dari 40% etilen glikol, 60% air dan *Cellulose Nanocrystal* (CNC).

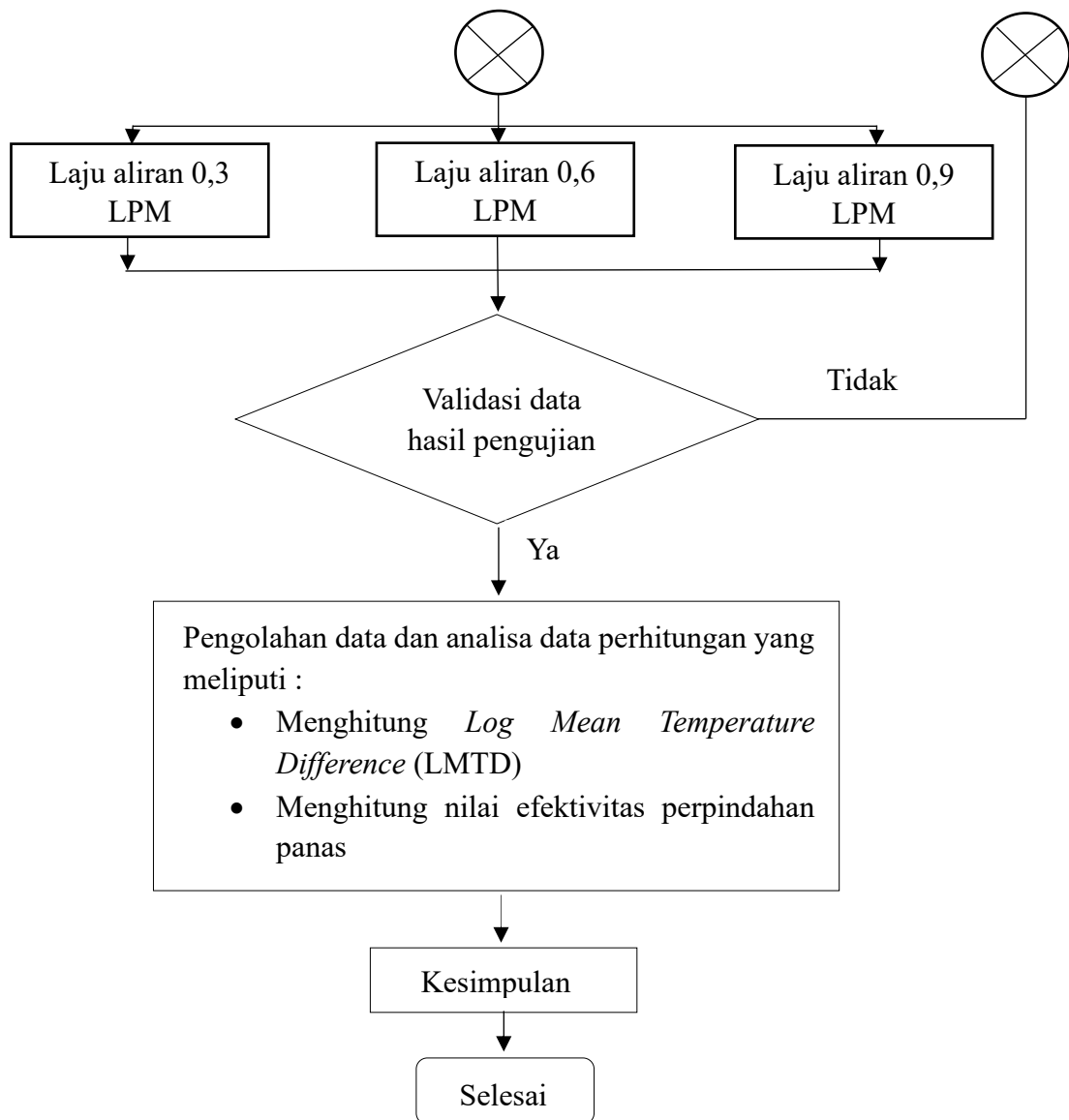
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Di bawah ini merupakan diagram alir penelitian kinerja *double pipe heat exchanger* pada sistem pendingin baterai lithium-ion.





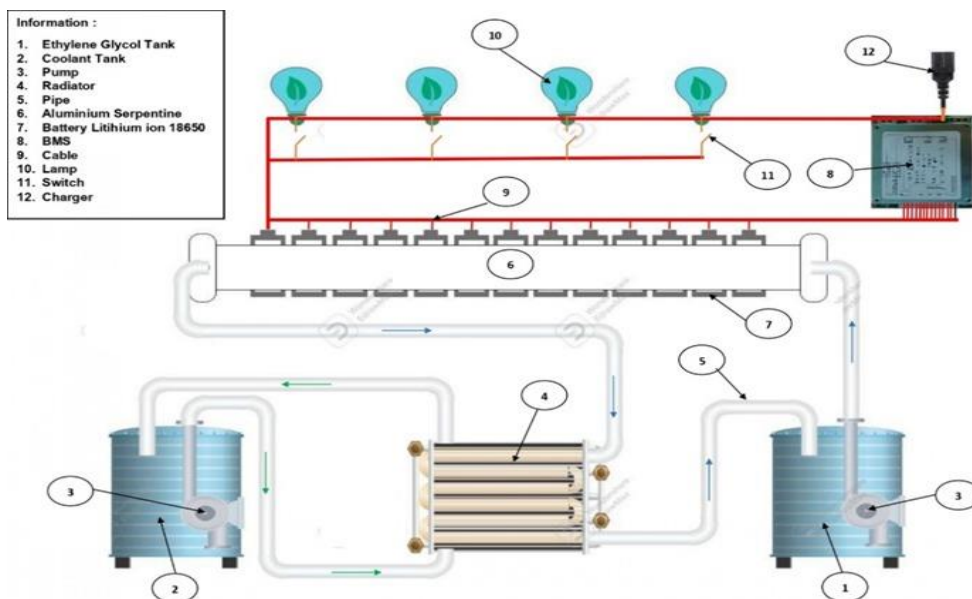
**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Rancangan Sistem Pendingin Baterai

Baterai yang akan didinginkan adalah 13 buah baterai yang dirangkai secara seri. Rangkaian baterai ini dihubungkan ke beban lampu. Rangkaian lampu yang akan digunakan adalah rangkaian 4 seri dan 3 paralel, dimana untuk menyalakan satu paralel lampu diperlukan arus sebesar 1,68 A. Jenis lampu yang digunakan adalah lampu halogen dengan tegangan 12 V daya 21 W. Dengan menyalnya rangkaian beban lampu, maka akan terjadi proses *electrochemical* dan *joule heating* pada baterai yang menyebabkan baterai

panas (Kurniawan, 2020). Maka untuk mengurangi panas, baterai diapit oleh dua *wavy channel* (sirkuit bergelombang) yang didalamnya dialiri fluida jenis nanofluid.

Selama dilakukan pengujian, mesin pendingin harus dijalankan. Nanofluid dialirkan melalui anulus menggunakan pompa menuju *wavy channel*. Setelah nanofluid mengalir *wavy channel*, nanofluid dialirkan kembali ke *inner pipe double heat exchanger heat exchanger* dan selanjutnya dialirkan ke tangki penampungan. Bersamaan dengan dialirkannya nanofluid, coolant juga dialirkan dari tangki penampungan menggunakan pompa menuju anulus *double pipe heat exchanger* dan dari outlet anulus, coolant sirkulasi kembali ke tangki penampungan. Pengambilan data pengujian dilakukan dengan memvariasikan arah aliran fluida dalam *double pipe heat exchanger*. Gambar dibawah ini menunjukkan skema rancangan sistem pendingin baterai.



**Gambar 3. 2** Skema alat uji sistem pendinginan



### 3.3 Alat dan Bahan yang digunakan

Adapun alat dan bahan yang digunakan penulis dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 1. *Wavy Mini Channel*

*Wavy mini channel* adalah sirkuit bergelombang yang digunakan sebagai pendingin baterai lithium-ion. Sirkuit bergelombang ini terbuat dari aluminium, yang sering digunakan sebagai media penukar panas pada sistem baterai lithium ion.



**Gambar 3. 3** Wavy mini channel

#### 2. Rangkaian Baterai

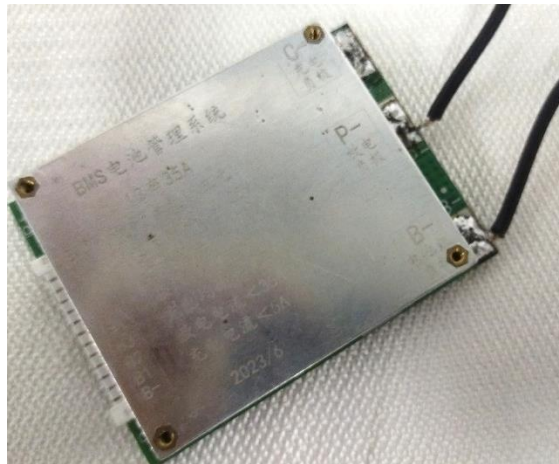
Baterai yang digunakan adalah jenis lithium ion dengan tegangan 3,7 V. Baterai lithium ion merupakan salah satu jenis baterai sumber arus sekunder yang dapat diisi ulang. Sebanyak 13 buah baterai lithium diseriikan dengan total tegangan mencapai 54,4 V.



**Gambar 3. 4** Rangkaian baterai

### 3. *Battery Management System (BMS)*

*Battery Management System (BMS)* adalah sistem elektronik yang berfungsi untuk mengatur, memonitoring, dan menjaga baterai dari kondisi-kondisi yang dapat merusak baterai.



**Gambar 3. 5** *Battery Management System (BMS)*

### 4. Rangkaian beban lampu

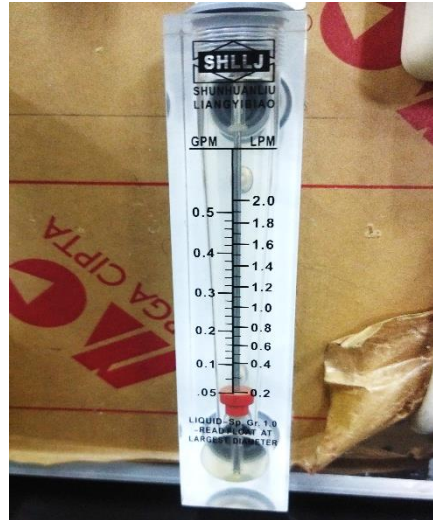
Rangkaian beban lampu yang digunakan adalah 4 seri dan 3 paralel, lampu yang digunakan jenis halogen dengan tegangan 12 V dan daya 21 W dan digunakan resistor 22 W 27 Ohm yang berfungsi untuk menghambat dan mengatur arus listrik pada rangkaian lampu. Jika lampu dinyalakan maka arus yang digunakan adalah 5,07 A dan daya baterai sebesar 318 W. *Fan* dipasang dibelakang beban rangkaian lampu untuk mengurangi panas resistor.



**Gambar 3. 6** Rangkaian beban lampu

### 5. Rotameter

Rotameter adalah alat yang mengukur tingkat aliran cair atau gas dalam tabung tertutup.



**Gambar 3. 7** Rotameter

### 6. *Battery Indicator*

*Battery Indicator* adalah suatu perangkat elektronik yang menginformasikan kondisi baterai. *Battery indicator* yang digunakan berfungsi untuk mengukur tegangan dan *State of Charge* (SOC) atau persentase kapasitas baterai.



**Gambar 3. 8** *Battery Indicator*

### 7. *Double pipe heat exchanger*

Alat penukar kalor yang digunakan adalah *double pipe heat exchanger*.



**Gambar 3. 9** *Double pipe heat exchanger*

**Tabel 3. 1** *Klasifikasi Double pipe heat exchanger*

<b>Data</b>	<b>mm</b>	<b>m</b>
Diameter Anulus	48	0,048
Diameter Sambungan Anulus	22	0,022
Panjang Anulus	400	0,4
Panjang Sambungan Anulus	50	0,05
Diameter Inner Pipe	9,52	0,00935

### 8. Selang

Selang air yang digunakan adalah ukuran 3/8 inchi dengan diameter dalam 9,5 mm.



**Gambar 3. 10** Selang

### 9. Nanofluid

Nanofluid adalah fluida yang akan dialirkan untuk mendinginkan baterai. Konsentrasi nanofluid yang digunakan ada 3 yaitu 0,1%, 0,3% dan 0,5%. Berikut adalah komposisi untuk setiap nanofluid.

**Tabel 3. 2** Komposisi nanofluid dalam 1 liter

Nanofluid 0,1%			Nanofluid 0,3%			Nanofluid 0,5%		
Air (ml)	Etilen glikol (ml)	CNC (gr)	Air (ml)	Etilen glikol (ml)	CNC (gr)	Air (ml)	Etilen glikol (ml)	CNC (gr)
600	400	0,63	600	400	1,89	600	400	3,15



**Gambar 3. 11** Larutan Nanofluid

### 10. Coolant

Fluida pendingin yang digunakan untuk mendinginkan nanofluid adalah coolant dengan merek MAESTRO.



**Gambar 3. 12** Coolant

### 11. Pompa Air

Pompa yang digunakan adalah pompa air dengan daya 25 W dan *output* maksimal 2200 L/jam. Pompa ini akan digunakan untuk mengalirkan fluida ke *heat exchanger*.



**Gambar 3. 13** Pompa air

### 12. Termokopel

Termokopel adalah alat yang mampu mengukur suhu sampai 2300 °C. Dalam penelitian ini digunakan 2 termokopel yang berbeda.



**Gambar 3. 14** Termokopel Merek HTI



**Gambar 3. 15** Termokopel Merek Mastech

**Tabel 3. 3** Klasifikasi Termokopel

Termokopel HTI		Termokopel MASTECH	
Temperature Range	Accuracy	Temperature Range	Accuracy
-200 °C-1372 °C	<100°C = 0,1°C	-200°C to +1372°C	±0,2 °C

13. *Hygrometer*

*Hygrometer* adalah alat yang dipakai dalam pengukur kelembaban relatif udara dan suhu ruangan.

**Gambar 3. 16** *Hygrometer*

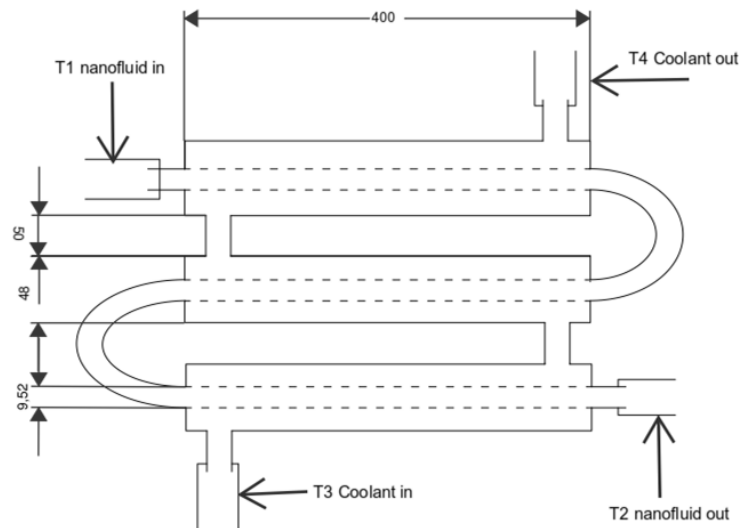
## 14. Charger 48 V

Charger ini digunakan untuk mengisi baterai.

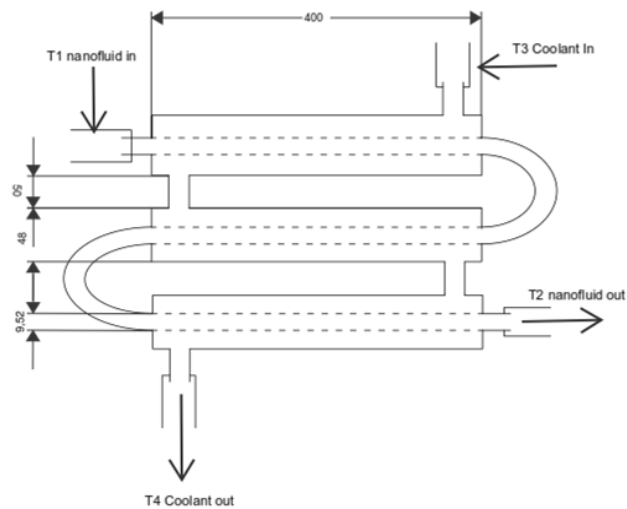
**Gambar 3. 17** Charger 48 V

### 3.4 Penempatan Titik Pengukuran

Penempatan titik pengukuran pada double pipe heat exchanger merupakan hal yang penting untuk mengetahui nilai temperatur pada setiap pengujian yang dilakukan.



**Gambar 3. 18** Penempatan titik pengukuran pada variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*)



**Gambar 3. 19** Penempatan titik pengukuran pada variasi arah aliran searah (*parallel flow*)



### 3.5 Prosedur Pengujian

Pada prosedur pengujian, terdapat beberapa prosedur yang dilakukan sebelum pengujian, diantaranya adalah prosedur kalibrasi termokopel, prosedur instalasi rangkaian alat dan prosedur pengujian alat.

#### 3.4.1 Prosedur Kalibrasi Termokopel

Termokopel yang digunakan ada dua jenis yaitu termokopel merek HTI dan termokopel merek MASTECH . Prosedur kalibrasi untuk termokopel merek HTI adalah sebagai berikut.

1. Menyediakan es batu dan wadahnya untuk beban ukur yang dipakai.
2. Memasang probe tipe K ke termokopel
3. Menekan tombol ON dan mengukur suhu es batu dengan probe termokopel.
4. Menekan tombol hold pada termokopel
5. Mengukur suhu es batu dengan thermometer air raksa.
6. Menekan tombol OFF pada termokopel dan membuka probe dari termokopel.
7. Memasang kembali probe dan mengukur temperatur es batu.
8. Menyesuaikan temperatur pada layar termokopel pada thermometer air raksa.
9. Jika temperatur pada termokopel dan thermometer air raksa sudah sesuai maka kalibrasi berhasil, jika tidak maka mengulangi langkah kalibrasi.

Adapun prosedur kalibrasi pada termokopel merek MASTECH adalah sebagai berikut.

1. Menyediakan es batu dan wadahnya untuk beban ukur yang dipakai.
2. Memasang probe tipe K ke termokopel dan menekan tombol POWER.
3. Mengukur temperatur es batu dengan termokopel
4. Mengukur temperature es batu dengan thermometer air raksa.
5. Menekan tombol SETUP pada termokopel dan mengatur temperatur sesuai dengan temperatur pada thermometer.

6. Jika temperature sudah sesuai, selanjutnya menekan tombol ENTER dan menekan tombol POWER.
7. Termokopel sudah terkalibrasi.

### 3.4.2 Prosedur Instalasi Rangkaian Alat

Adapun prosedur untuk instalasi rangkaian alat adalah sebagai berikut.

1. Memasang sistem perkabelan dari baterai dan *battery management system* (BMS) serta beban lampu.
2. Memasang *wavy channel* pada rangkaian baterai.
3. Menempatkan pompa pada tangki sirkulasi fluida dan memasang selang.
4. Memasang selang dari pompa menuju *wavy channel* dan *double pipe heat exchanger* sesuai jenis aliran yang akan diuji (*counter flow* atau *parallel flow*).
5. Memasang probe termokopel ke selang yang sudah terpasang di *double pipe heat exchanger*.
6. Memasang probe termokopel ke permukaan baterai.
7. Memasang penjepit pada *wavy channel* untuk memastikan permukaan *wavy channel* dan permukaan baterai bersentuhan.

### 3.4.3 Prosedur Pengujian Alat

Adapun prosedur pengujian alat adalah sebagai berikut.

1. Menuangkan nanofluid dan coolant ke masing-masing tangki.
2. Menyalakan pompa nanofluid dan pompa coolant, dan mengatur laju aliran fluida sesuai laju aliran pengujian.
3. Mematikan pompa nanofluid dan pompa coolant.
4. Memastikan semua komponen sudah terpasang.
5. Menyalakan beban lampu dan menyalakan pompa.
6. Mengambil foto setiap 30 detik menggunakan kamera handphone.
7. Setelah lampu mati, pompa dimatikan dan dokumentasi foto selesai. Setelah selesai, melakukan proses charge pada baterai.

## BAB IV

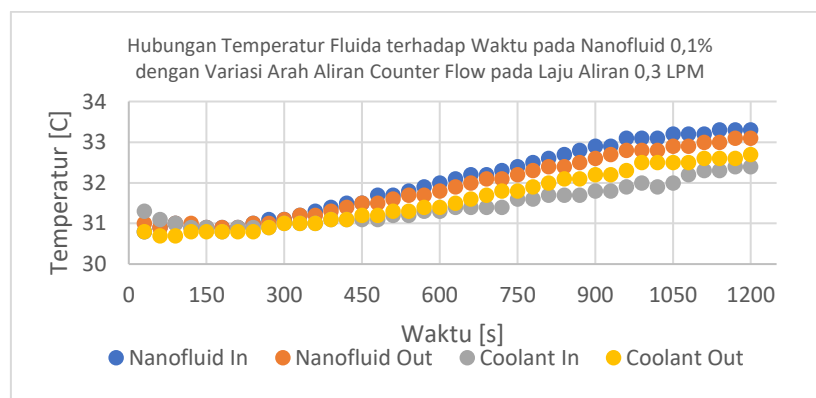
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengambilan Data

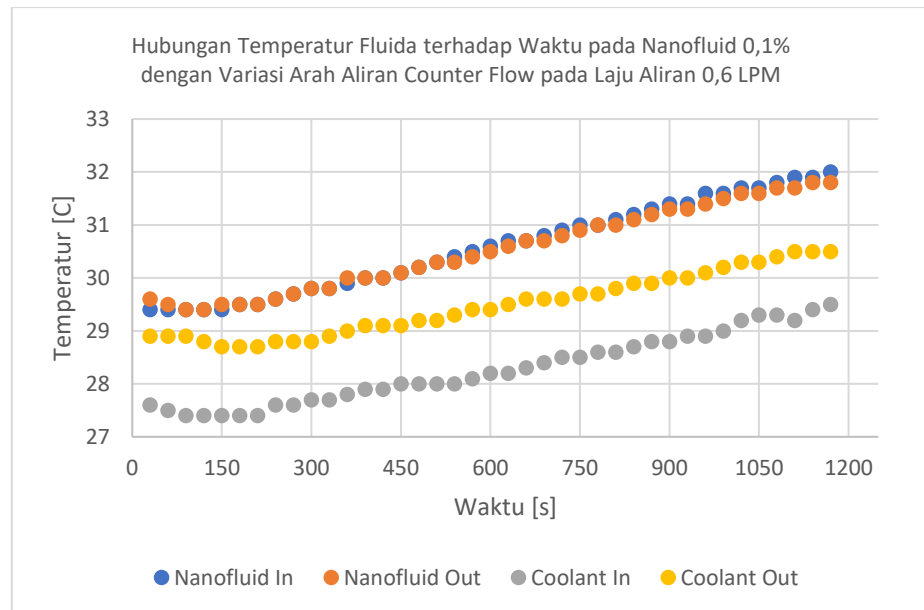
Pengumpulan data ini dilakukan secara langsung dengan melakukan eksperimen pada *double pipe heat exchanger*. Adapun prinsip kerja dari alat uji ini yaitu nanofluid yang ada di dalam tangki penampungan dialirkan dengan pompa menuju *wavy channel* dimana *wavy channel* tersebut mengapit baterai yang dalam 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

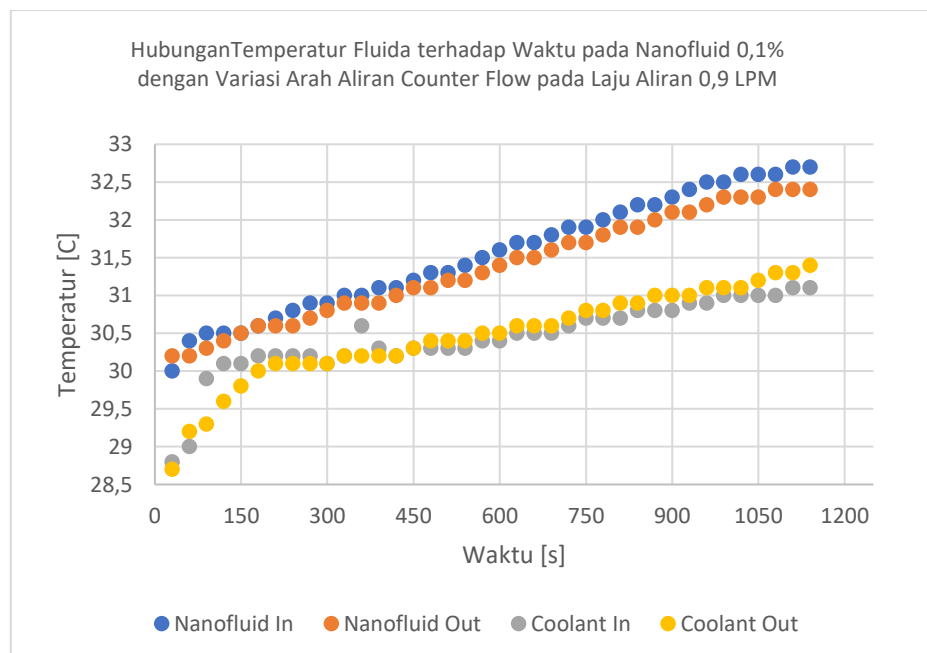
Berikut adalah grafik hasil pengambilan data pada setiap konsentrasi nanofluid.



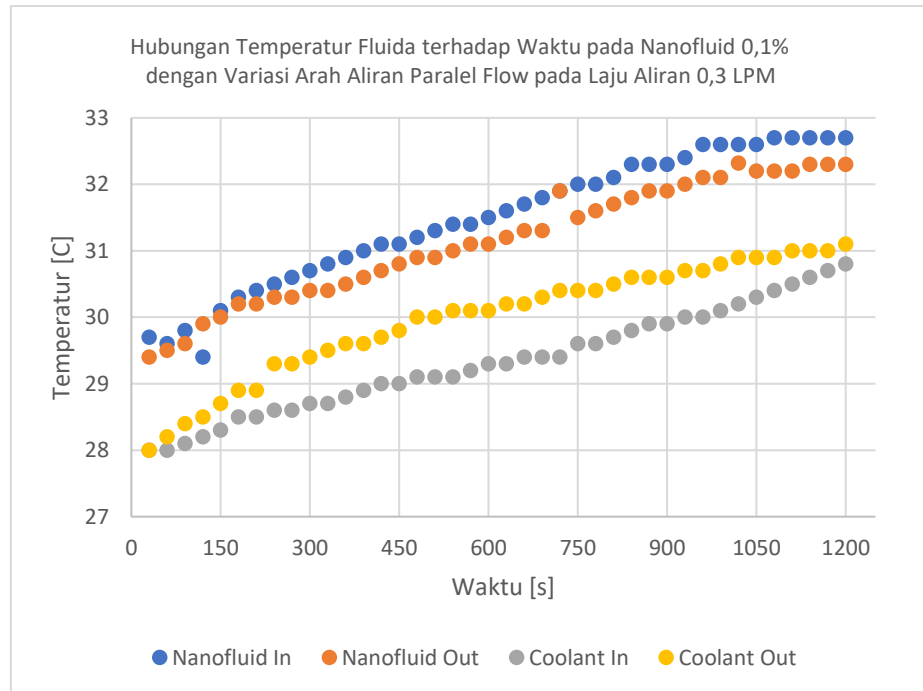
**Gambar 4. 1** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,3 LPM



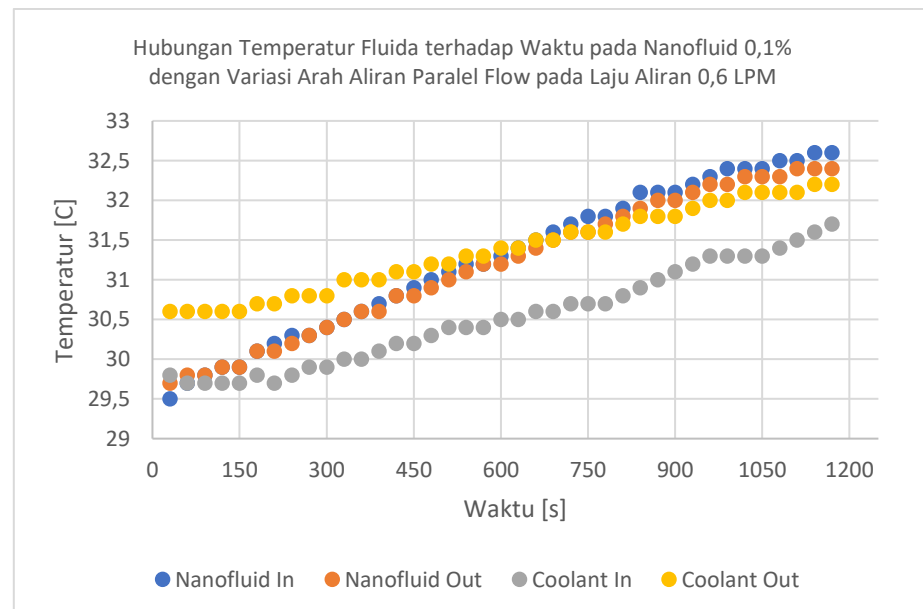
**Gambar 4. 2** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,6 LPM



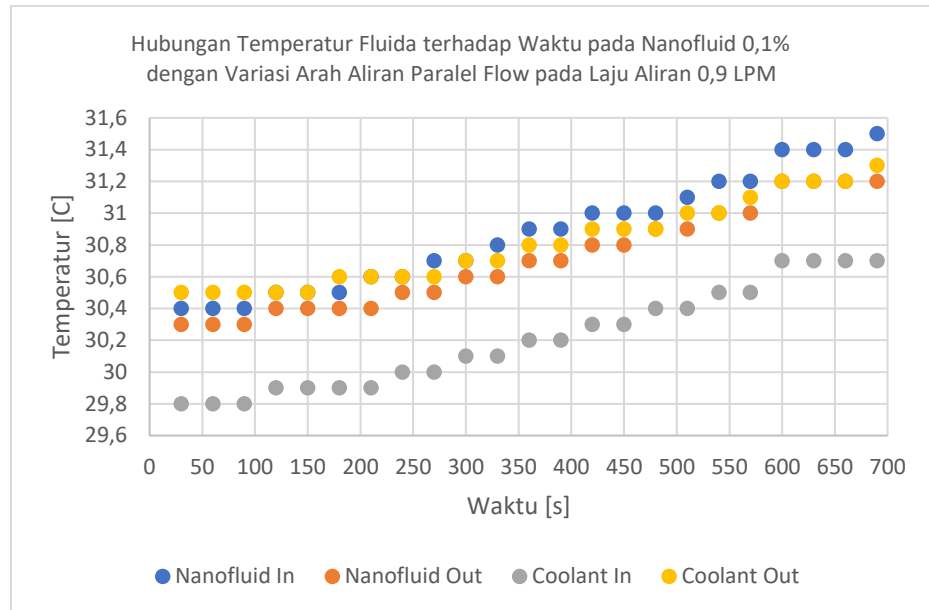
**Gambar 4. 3** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,9 LPM



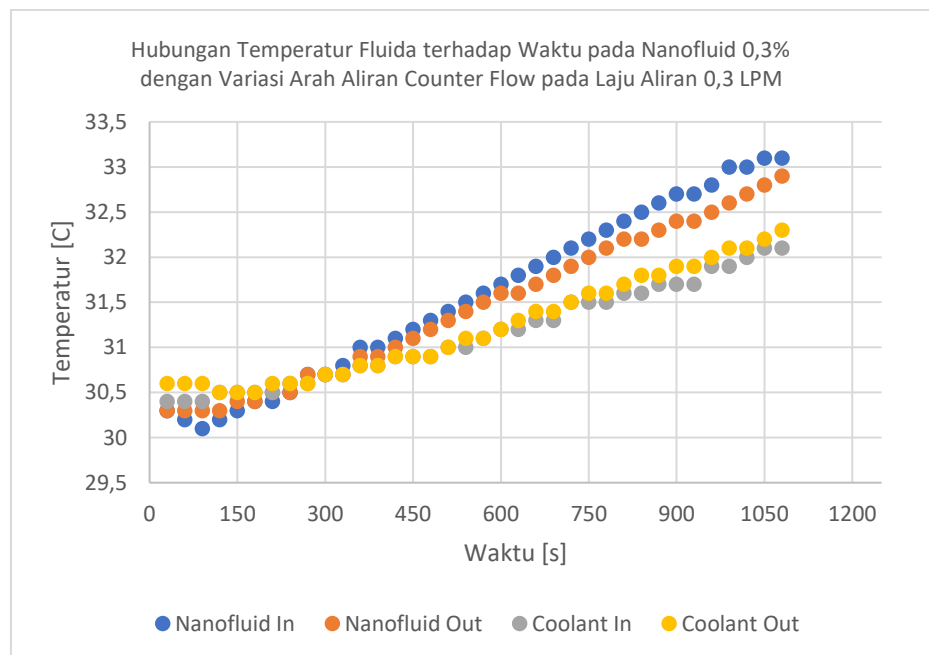
**Gambar 4. 4** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *paralel flow* pada laju aliran 0,3 LPM



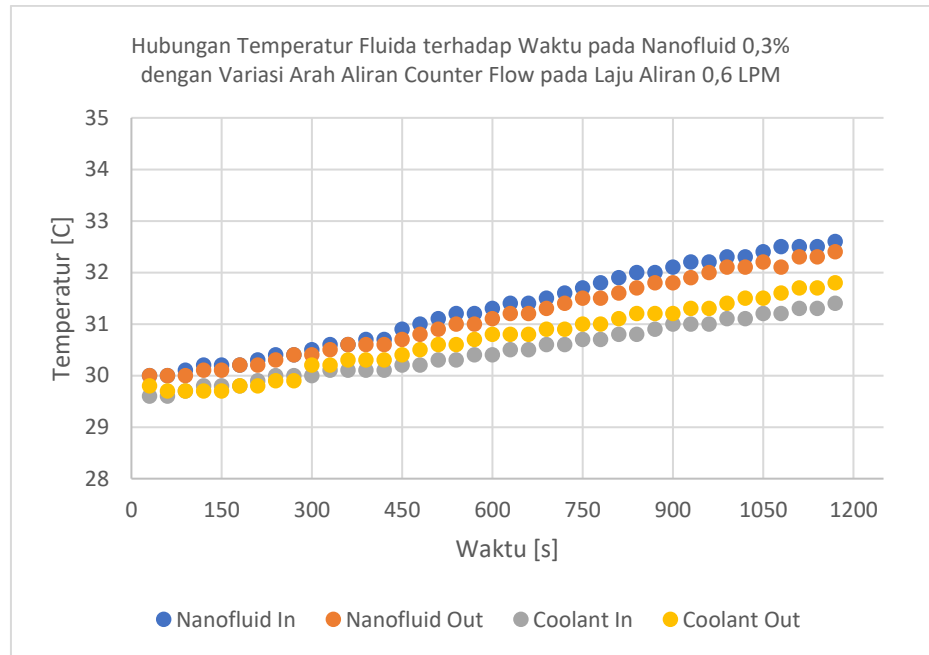
**Gambar 4. 5** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *paralel flow* pada laju aliran 0,6 LPM



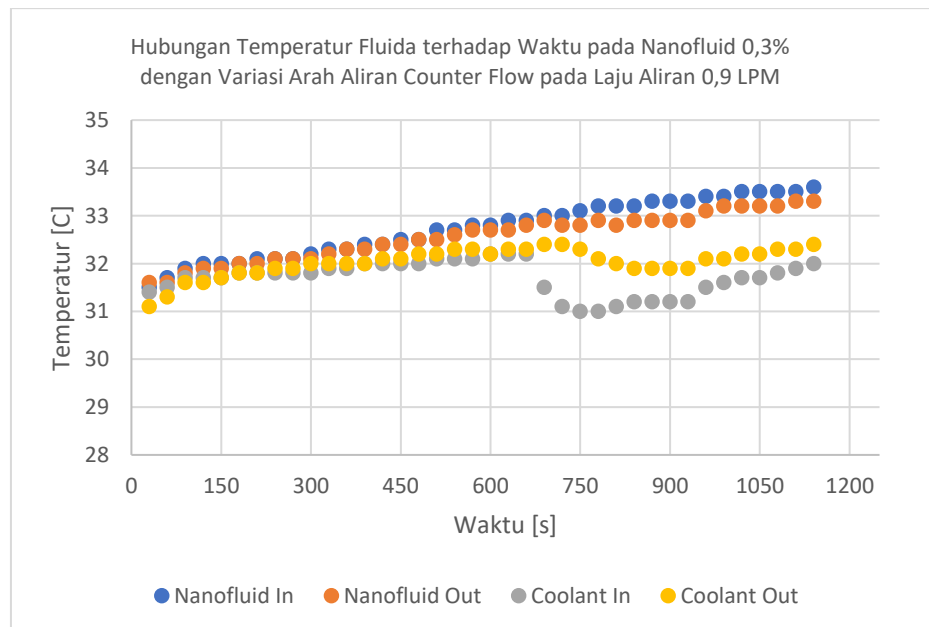
**Gambar 4. 6** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,1 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,9 LPM



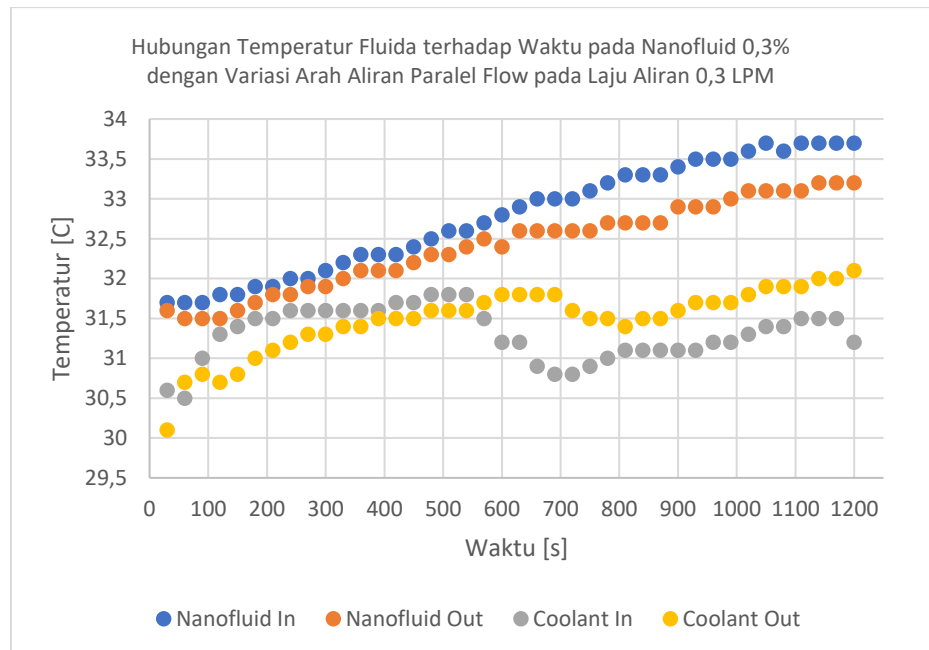
**Gambar 4. 7** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran counter flow pada laju aliran 0,3 LPM



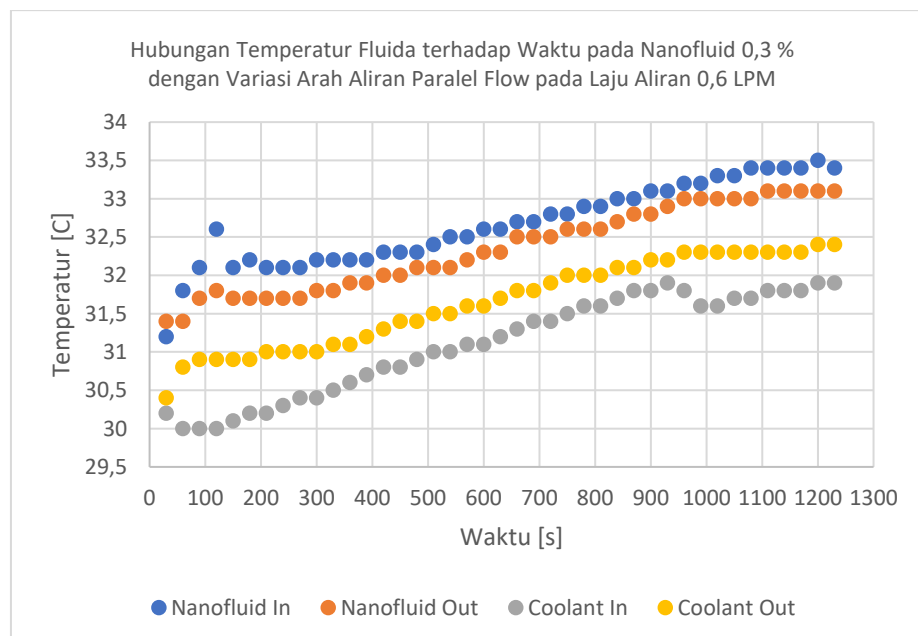
**Gambar 4. 8** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,6 LPM



**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

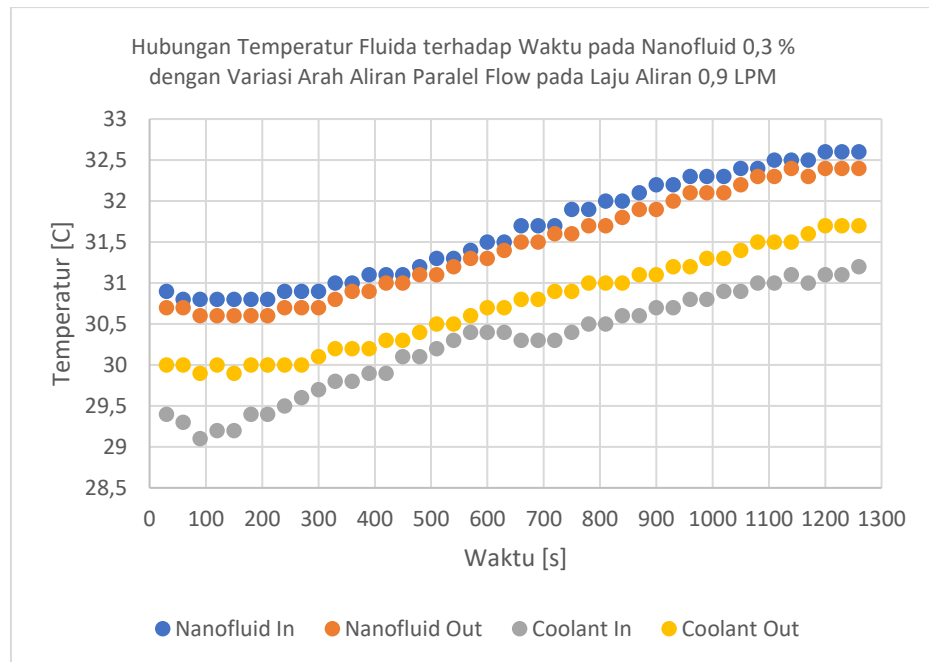


**Gambar 4. 10** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,3 LPM

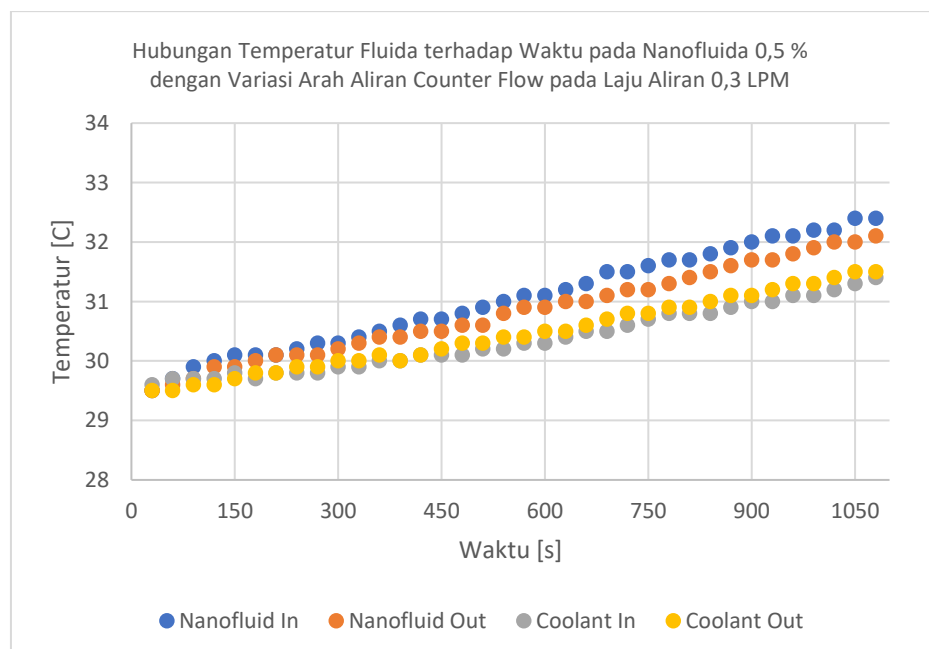


**Gambar 4. 11** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,6 LPM

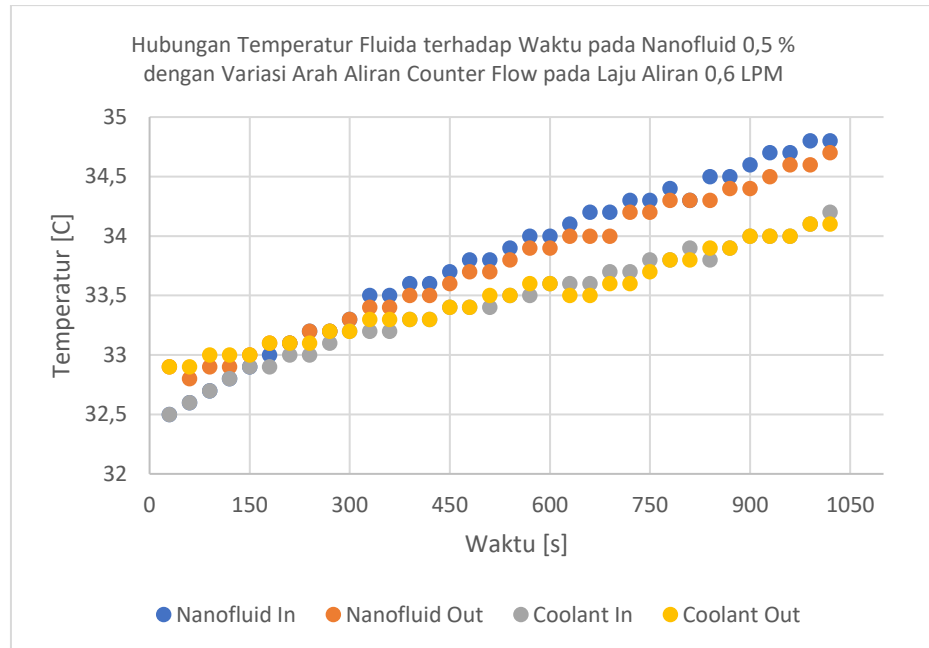




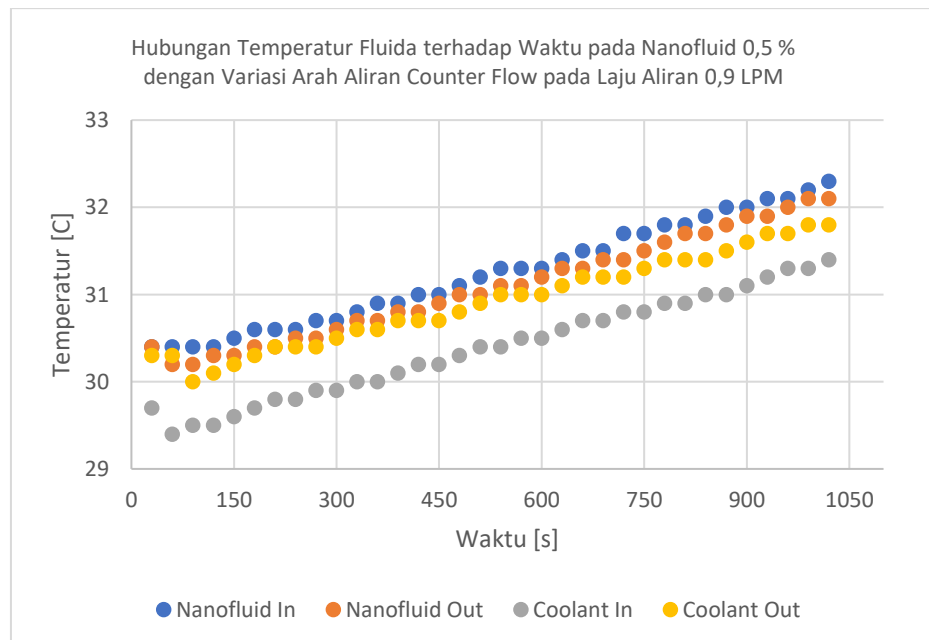
**Gambar 4. 12** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,3 % dengan variasi arah aliran *parallel flow* pada laju aliran 0,9 LPM



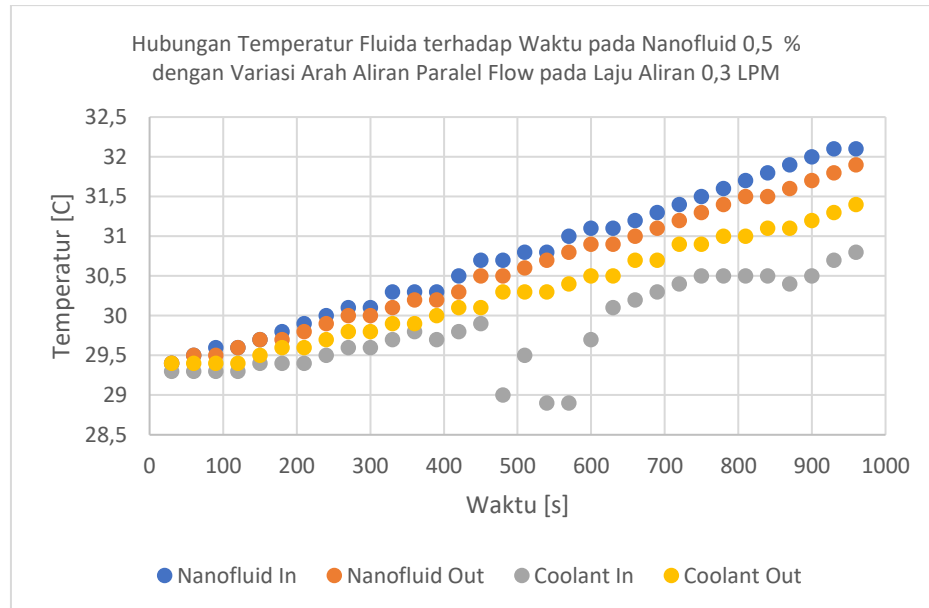
**Gambar 4. 13** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,3 LPM



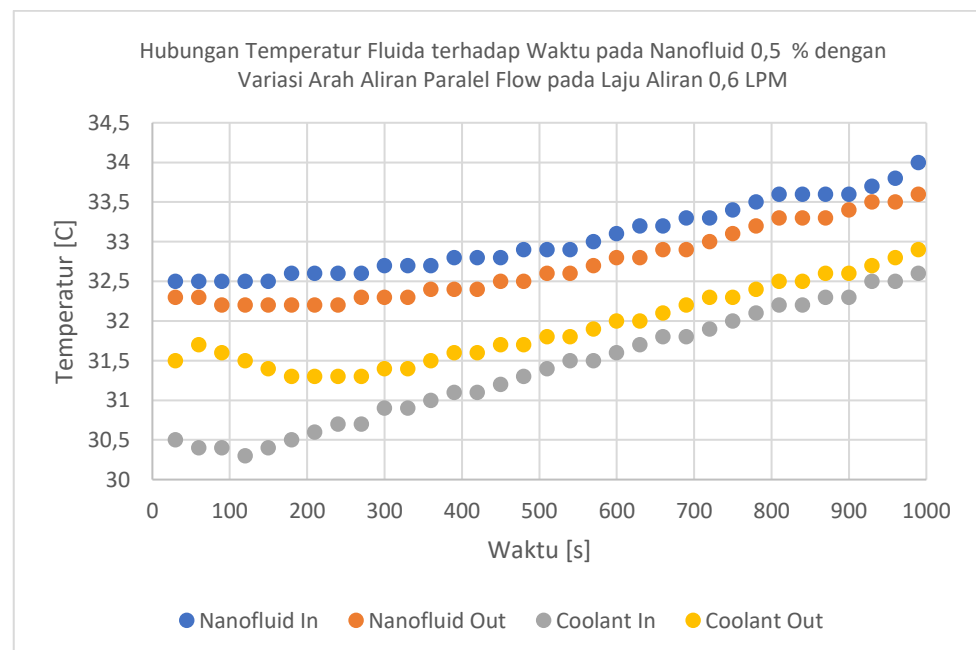
**Gambar 4. 14** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,6 LPM



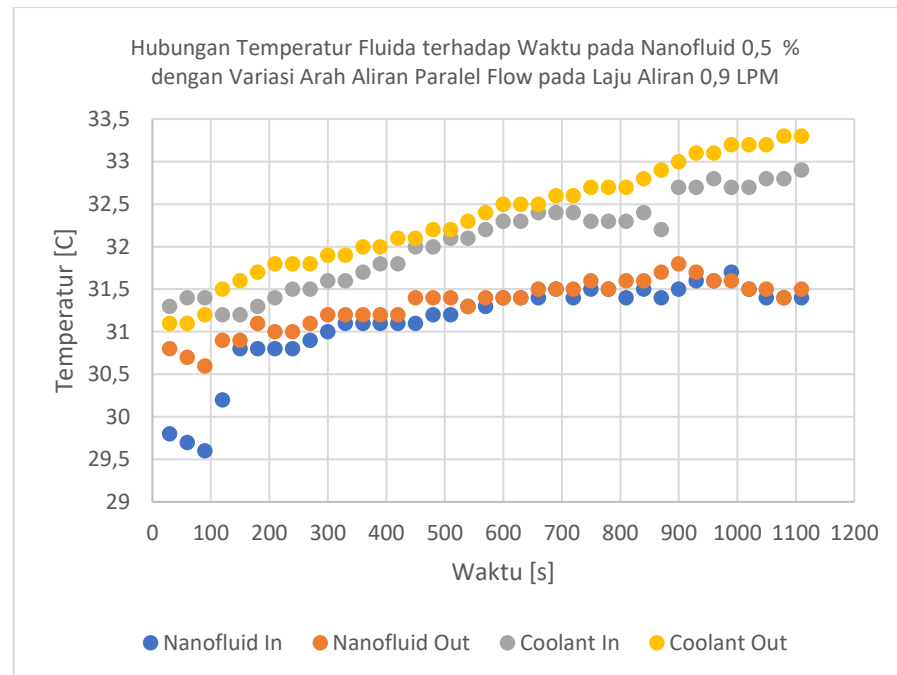
**Gambar 4. 15** Grafik perbandingan temperatur fluida terhadap waktu pada nanofluid 0,5 % dengan variasi arah aliran *counter flow* pada laju aliran 0,9 LPM



**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*

<b>Data</b>	<b>Diameter Luar (mm)</b>	<b>Diameter Dalam (mm)</b>	<b>m</b>
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

<b>Keterangan</b>	<b>Data</b>
Nanofluid in ( $t_1$ )	306,45 K
Nanofluid out ( $t_2$ )	306,25 K
Rata-rata nanofluid ( $\Delta Th$ )	0,2 K
Coolant in ( $T_1$ )	305,55 K

Coolant Out ( $T_2$ )	305,75 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta T_c$ )	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 ( $\Delta Th$ )	0,1 K
Coolant in ( $T_1$ )	303,75 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,35 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 :

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

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

Kalor yang diserap oleh coolant

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

$$= 0,0036 \cdot 3283 \cdot 0,6 = 7,10 \text{ W}$$

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 *Cmin*

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

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

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 *Cmin* adalah  $C_c$  yaitu 11,84 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 ( $\Delta Th$ )	0,3 K
Coolant in ( $T_1$ )	304,25 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,55 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h \\ &= 0,0158 \cdot 2400 \cdot 0,3 = 11,37 \text{ W} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{11,37 + 3,55}{2} = 7,46 \text{ W} \end{aligned}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

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

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

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{7,46}{0,1796 \times 1,3} = 31,97 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menentukan *Cmin*

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

$$\begin{aligned} C_h &= m_h \cdot C_p \\ &= 0,0158 \cdot 2400 = 37,89 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

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

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 ( $\Delta Th$ )	0,4 K
Coolant in ( $T_1$ )	303,85 K
Coolant Out ( $T_2$ )	303,15 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 ( $\Delta Th$ )	0,1 K
Coolant in ( $T_1$ )	304,75 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,95 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 (*parallel 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 (*parallel 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 ( $\Delta Th$ )	0,2 K
Coolant in ( $T_1$ )	304,15 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,25 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 (*parallel flow*) dan variasi laju aliran 0,9 LPM yaitu sebagai berikut.

- Panas yang diserap

Kalor yang dilepas oleh nanofluid :

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

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 ( $\Delta T_h$ )	0,3 K
Coolant in ( $T_1$ )	305,25 K
Coolant Out ( $T_2$ )	305,35 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta T_c$ )	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 ( $C_{ph}$ 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 :

$$\begin{aligned} Q_h &= m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h \\ &= 0,0053 \cdot 2750 \cdot 0,3 = 4,34 \text{ W} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{average} &= \frac{Q_h + Q_c}{2} \\ Q_{average} &= \frac{4,34 + 1,1}{2} = 2,76 \text{ W} \end{aligned}$$

- Perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[ \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \\ &= \frac{0,9 - 0,7}{\ln \left[ \frac{0,9}{0,7} \right]} = 0,8 \text{ K} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{Q_{av}}{A \times LMTD} \\ &= \frac{2,76}{0,1796 \times 0,8} = 19,34 \text{ W.m}^2.\text{K} \end{aligned}$$

- 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 :

$$C_h = m_h \cdot Cp_h$$

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

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 ( $\Delta Th$ )	0,2 K
Coolant in ( $T_1$ )	304,45 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,85 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 ( $\Delta Th$ )	0,3 K
Coolant in ( $T_1$ )	305,15 K
Coolant Out ( $T_2$ )	305,55 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 ( $\Delta Th$ )	0,6 K
Coolant in ( $T_1$ )	305,05 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,55 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 ( $\Delta Th$ )	0,4 K
Coolant in ( $T_1$ )	305,35 K

Coolant Out ( $T_2$ )	305,05 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta T_c$ )	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 ( $\Delta Th$ )	0,2 K
Coolant in ( $T_1$ )	304,65 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,35 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 *Cmin*

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

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

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

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 *Cmin* adalah  $C_c$  yaitu  $11,84 \text{ W/K}$ .

- 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 ( $\Delta Th$ )	0,3 K
Coolant in ( $T_1$ )	304,45 K
Coolant Out ( $T_2$ )	303,65 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 :

$$C_c = m_c \cdot Cp_c$$

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

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

- Perhitungan Panas Aktual

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

- Perhitungan Panas Maksimal

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

$$= 11,84 (305,15 - 304,45) = 8,29 \text{ W}$$

- 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 ( $\Delta Th$ )	0,3 K
Coolant in ( $T_1$ )	307,25 K
Coolant Out ( $T_2$ )	307,35 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 ( $U$ )

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

$$= \frac{4,59}{0,1796 \times 0,49} = 51,76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- 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 :

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

$$= 0,0105 \cdot 2530 = 26,62 \text{ W/K}$$

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

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

- Perhitungan Panas Maksimal

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

$$= 11,84 (307,95 - 307,25) = 8,29 \text{ W}$$

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

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

$$= \frac{4,59}{8,29} \times 100\% = 55,32 \%$$

## 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 ( $\Delta Th$ )	0,2 K
Coolant in ( $T_1$ )	304,55 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,95 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 (*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 0,5 % dengan variasi arah aliran berlawanan arah (*paralel 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 ( $\Delta Th$ )	0,2 K
Coolant in ( $T_1$ )	303,85 K
Coolant Out ( $T_2$ )	304,45 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 <sup>2</sup>
----------------------------	-----------------------

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 ( $\Delta Th$ )	0,2 K

Coolant in ( $T_1$ )	305,85 K
Coolant Out ( $T_2$ )	305,75 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta T_c$ )	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)

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

$$= \frac{3,25}{0,1796 \times 0,85} = 21,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- 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 :

$$C_h = m_h \cdot Cp_h$$

$$= 0,0105 \cdot 2530 = 26,62 \text{ W/K}$$

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

$$C_c = m_c \cdot Cp_c$$

$$= 0,0036 \cdot 3283 = 11,84 \frac{\text{kW}}{\text{K}} = 11162 \text{ W/K}$$

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

- Perhitungan Panas Aktual

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

- Perhitungan Panas Maksimal

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

$$= 11,84 (306,75 - 305,85) = 10,66 \text{ W}$$

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

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

$$= \frac{3,25}{10,66} \times 100\% = 30,54 \%$$

## 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 ( $\Delta Th$ )	0,1 K
Coolant in ( $T_1$ )	305,55 K
Coolant Out ( $T_2$ )	305,65 K
Rata-rata Coolant ( $\Delta Tc$ )	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 :

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

Untuk kapasitas kalor pada coolant adalah :

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

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

- Perhitungan Panas Aktual

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

- 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.

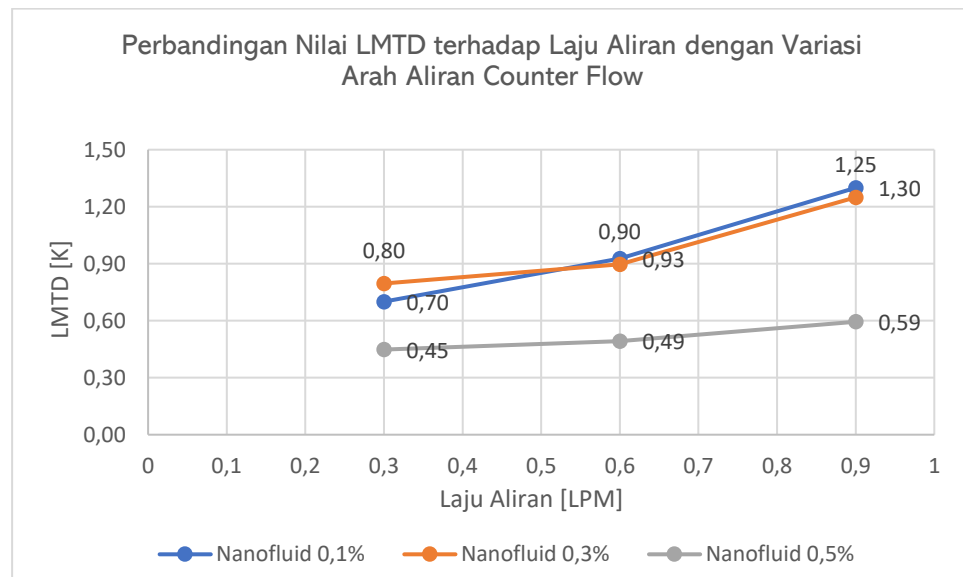
**Tabel 4. 21** Hasil Perhitungan Data Nanofluid

<b>Nanofluid 0,1%</b>						
	<b>Counter Flow</b>			<b>Paralel Flow</b>		
	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>
<b>LMTD</b>	0,70	0,93	1,30	1,62	0,84	0,64
<b>U average</b>	19,46	28,90	31,97	14,74	21,35	29,00
<b>Efektivitas</b>	22,96	31,28	39,38	18,17	25,83	37,00
<b>Nanofluid 0,3%</b>						
	<b>Counter Flow</b>			<b>Paralel Flow</b>		
	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>
<b>LMTD</b>	0,80	0,90	1,25	1,75	1,20	1,15
<b>U average</b>	19,34	32,70	39,59	21,48	25,85	26,97
<b>Efektivitas</b>	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
<b>LMTD</b>	0,45	0,49	0,59	0,94	0,85	0,49
<b>U average</b>	39,52	51,76	59,59	28,80	21,34	29,22
<b>Efektivitas</b>	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.

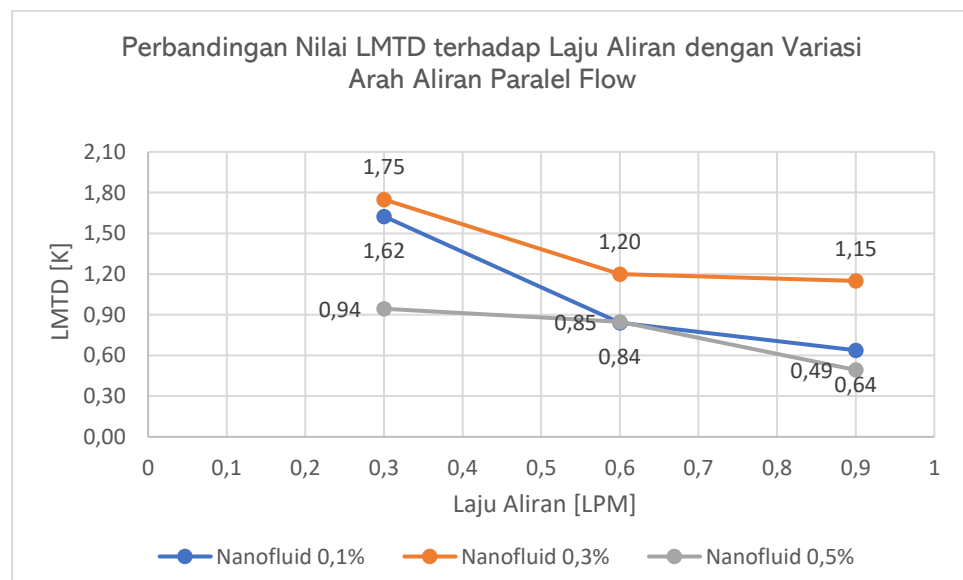


**Gambar 4. 19** Grafik Perbandingan LMTD terhadap Laju Aliran dengan Variasi Arah Aliran *Counter Flow*

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

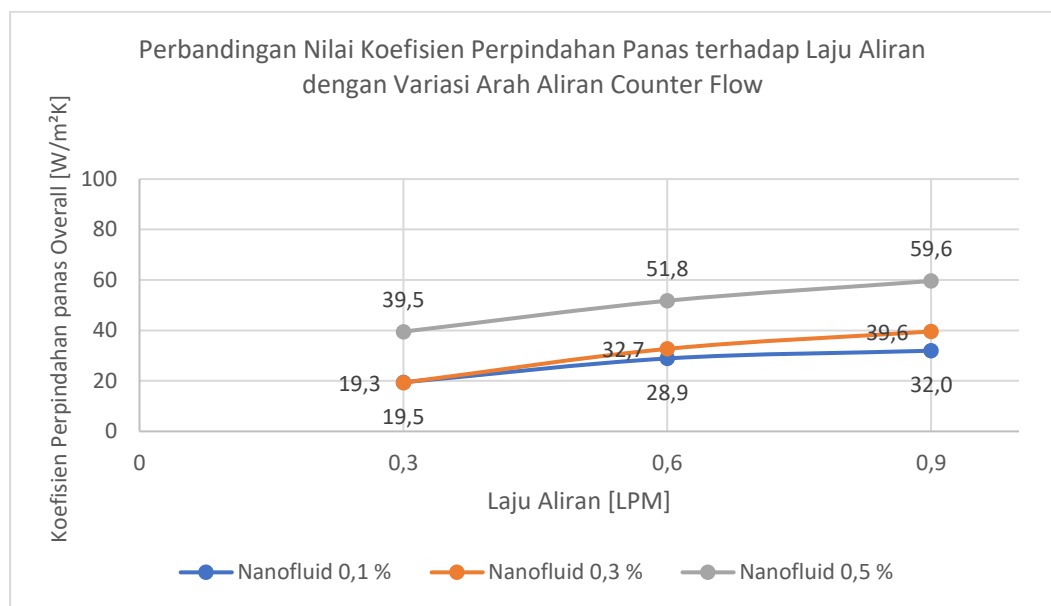
dengan larutan nanofluid konsentrasi 0,3 % yang ada pada garis kuning mengalami kenaikan nilai seiring dengan naiknya laju aliran, dimulai dengan 0,8 K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 0,9 K pada laju aliran 0,6 LPM dan 1,25 K pada laju aliran 0,9 LPM. Pada nanofluid konsentrasi 0,5 % yang ditunjukkan 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*

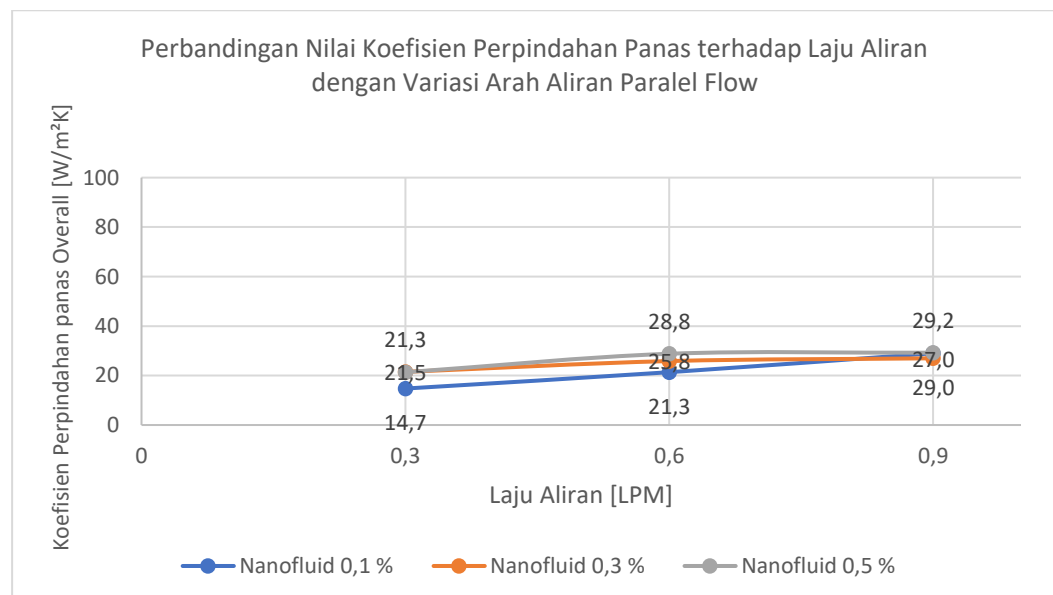
Pada gambar 4.20 diatas menunjukkan hubungan nilai LMTD dengan laju aliran pada variasi aliran searah (*paralel flow*). Pada nanofluid konsentrasi 0,1% mengalami penurunan nilai LMTD dari 1,62 K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 0,85 K pada laju aliran 0,6 LPM dan pada laju aliran 0,9 LPM menjadi 0,64 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 (*paralel 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/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 28,9 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,6 LPM dan naik menjadi 32 W/m<sup>2</sup>K pada laju

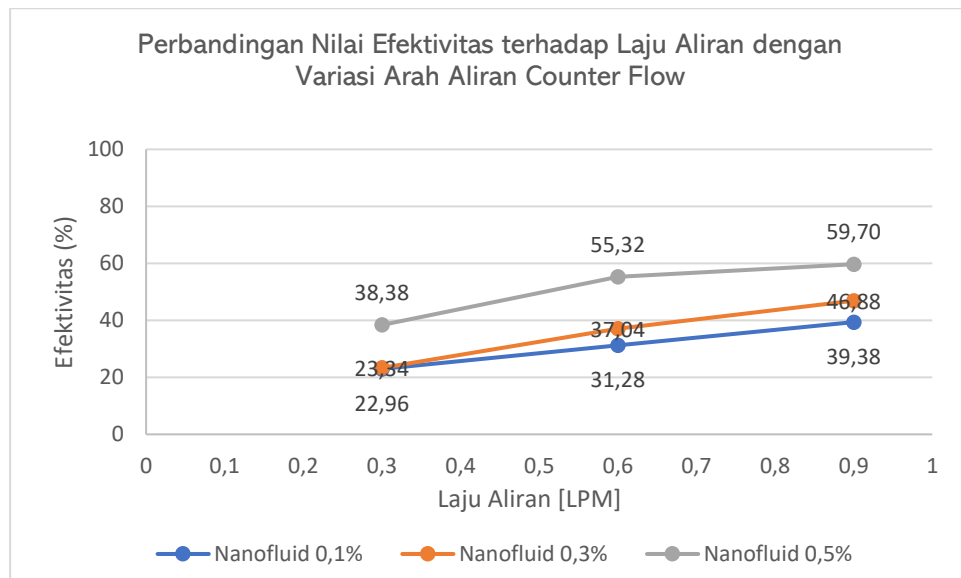
aliran 0,9 LPM. Pada nanofluid konsentrasi 0,3% terdapat kenaikan nilai perpindahan panas pada setiap laju aliran. Pada laju aliran 0,3 LPM nilai perpindahan panas sebesar 19,3 W/m<sup>2</sup>K naik menjadi 32,7 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,6 LPM dan naik menjadi 39,6 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,9 LPM. Dari grafik menunjukkan bahwa pada nanofluid 0,5% mengalami kenaikan nilai koefisien panas dari 39,5 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 51,8 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,6 LPM dan pada laju aliran 0,9 LPM mengalami kenaikan nilai perpindahan panas menjadi 59,6 W/m<sup>2</sup>K. 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/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 21,3 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,6 LPM dan mengalami kenaikan nilai menjadi 29 W/m<sup>2</sup>K 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/m<sup>2</sup>K pada laju

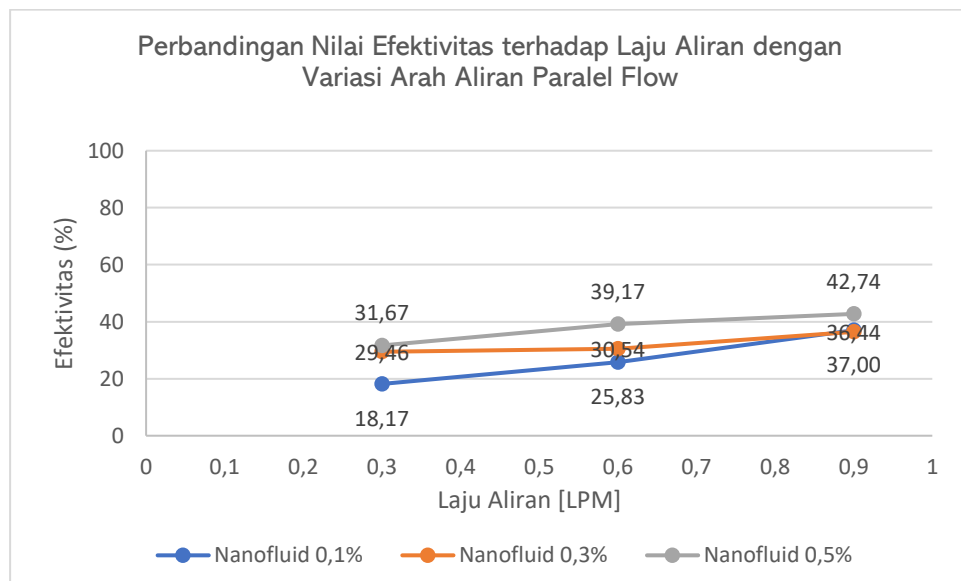
aliran 0,3 LPM menjadi 25,8 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,6 LPM dan mengalami kenaikan nilai perpindahan panas menjadi 27 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,9 LPM, begitu juga dengan nanofluid 0,5% mengalami kenaikan nilai perpindahan panas overall rata-rata dari 21,3 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,3 LPM menjadi 28,8 W/m<sup>2</sup>K pada laju aliran 0,6 LPM dengan mengalami kenaikan nilai perpindahan panas overall rata-rata menjadi 29,2 W/m<sup>2</sup>K 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.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian *double pipe heat exchanger* dan pengambilan data serta pembahasannya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan yang telah dilakukan menghasilkan data efektivitas perpindahan panas pada setiap variasi arah aliran, variasi laju aliran dan variasi konsentrasi nanofluid. Pada arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) dan aliran berlawanan arah nilai efektivitas perpindahan panas terhadap laju aliran pada masing-masing konsentrasi nanofluid naik konsisten. Hal ini dikarenakan laju aliran yang lebih tinggi mempercepat perpindahan panas antara nanofluid dan coolant, dengan demikian efektivitas pertukaran panas dalam *double pipe heat exchanger* dapat meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran fluida. Selain laju aliran, viskositas juga mempengaruhi efektivitas dalam *double pipe heat exchanger*; peningkatan viskositas cenderung mengurangi perpindahan panas antara nanofluid dan coolant.
2. Variasi arah aliran berpengaruh terhadap efektivitas perpindahan panas pada *double pipe heat exchanger*. Pada variasi arah aliran berlawanan arah (*counter flow*) efektivitas perpindahan panas tertinggi adalah pada variasi nanofluid 0,5% dengan laju aliran 0,9 LPM yaitu sebesar 59,7 % dan efektivitas perpindahan panas terendah adalah pada variasi nanofluid 0,1 % dengan laju aliran 0,9 LPM yaitu sebesar 22,96 %. Pada variasi arah aliran searah (*parallel flow*) efektivitas perpindahan panas tertinggi adalah pada variasi nanofluid 0,5 % dengan laju aliran 0,9 LPM dengan nilai efektivitas perpindahan panas sebesar 42,74% dan efektivitas perpindahan panas



terendah adalah pada variasi nanofluid 0,1 % dengan laju aliran 0,3 LPM dengan nilai efektivitas sebesar 18,17%.

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan alat pendingin baterai lithium ion tipe *wavy channel* penulis memberikan saran-saran sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan data temperatur masuk keluar nanofluid dan coolant yang sebenarnya maka peletakan pompa harus berada diluar tangki penampungan fluida.
2. Untuk mendapatkan pendinginan baterai yang maksimal, maka permukaan *wavy channel* harus dipastikan bersentuhan dengan permukaan baterai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, F. S. D., & Arsana, I. M. (2022). Rancang Bangun Fin Tipe Helical pada Penukar Panas Double Pipe. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 35–40.
- Cengel, Y., 2004. *Heat Transfer: A Practical Approach 2<sup>nd</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Doran M. Pauline. (2013). Heat Transfer, Heat Transfer Mechanism. In Pauline M. Doran (Ed.), *Bioprocess Engineering Principles* (Second Edi, Issue 1, pp. 333–377). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-220851-5.00009-5>
- Hardjono, F. A. 2023 ; (n.d.). UJI EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS RADIATOR COOLANT MENGGUNAKAN DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER. *Distilat Jurnal Teknologi Separasi Vol.9*.
- Holman, J. . (1995). Heat Transfer. 10th Edition (I. The McGraw-Hill Companies, ed.). New York.
- Incropera, F., 2011. *Fundamental of Heat and Mass Transfer 7th Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Kern, D. Q. (1982). I. Process Heat Transfer. In *Process, Enhanced, and Multiphase Heat Transfer*. <https://doi.org/10.1615/978-1-56700-079-5.82>
- Kurniawan, A. (2020). Analisis Laju Perpindahan Panas pada Baterai Ion Lithium 18650 terhadap Beban Keluarannya dengan Metode Numerik. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 2(2), 87-102
- Laela, D. A., & Hairunnisa. (2021). Pra-Rancangan Pabrik Etilen Glikol Dari Etilen Oksida Dengan Proses Hidrasi Non Katalitik-Kapasitas 200.0000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*, 4(1), 19–24. <http://jtam.ulm.ac.id/index.php/jtatk/article/view/695>

- Li, X., Colclasure, A. M., Finegan, D. P., Ren, D., Shi, Y., Feng, X., Cao, L., Yang, Y., & Smith, K. (2019). Degradation mechanisms of high capacity 18650 cells containing Si-graphite anode and nickel-rich NMC cathode. *Electrochimica Acta*, 297, 1109–1120. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.11.194>
- Liu, G., & Zhang, L. (2021). *Research on the Thermal Characteristics of an 18650 Lithium-Ion Battery Based on an Electrochemical – Thermal Flow Coupling Model*.
- Martelucci, L., Krishna, K. K., Astronautika, D. T., Energi, L., & Sapienza, U. (2021). *Analisis Sistem Manajemen Termal Baterai Pendingin Udara untuk Mobil Pelajar Formula*. <https://doi.org/10.4236/jtts.2021.113029>
- Menale, C., D'Annibale, F., Mazzarotta, B., & Bubbico, R. (2019). Thermal management of lithium-ion batteries: An experimental investigation. *Energy*, 182, 57–71. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.017>
- Nasution, M. (2021). Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik. *Journal of Electrical Technology*, 6(1), 35–40.
- Oates, Krysten. (2010). *Lithium-ion Batteries: Commercialization History and Current Market*. Foresight Science and Technology.
- Omidi, M., Farhadi, M., & Jafari, M. (2017). A comprehensive review on double pipe heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1075–1090. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.027>
- Rohman, Fadli.(2012) .Aplikasi Graphene Untuk Lithium Ion Battery. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sampson, I. E. (2017). Design and Operation of Double Pipe Heat Exchanger. *TLEP International Journal Of Chemical Engineering Research*, March.
- Septian, B., Aziz, A., Rey, P. D., Studi, P., Mesinfakultas, T., Dan, S., Universitas, T., Assyafi'iyah Jakarta, I., Besar, B., Konversi, T., & Bppt, E. (2021). Design of Heat Exchanger Shell and Tube. *Jurnal Baut Dan Manufaktur*, 03(1), 2686–5351.

Whittingham, M. S. (1976). *Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry* (Vol. 192). <https://science.sciencemag.org/content/192/4244/1126/tab-pdf>

Xie, W., Liu, X., He, R., Li, Y., Gao, X., Li, X., Peng, Z., Feng, S., Feng, X., & Yang, S. (2020). Challenges and opportunities toward fast-charging of lithium-ion batteries. *Journal of Energy Storage*, 32(August), 101837. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101837>

## **LAMPIRAN**

**Lampiran 1 Hasil pengambilan data**

**Data Heat Exchanger Counter Flow Nanofluid 0,1% 0,3 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Selasa, 21 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>17:12</b>	<b>17:27</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>30,7</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>31</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,6</b>	<b>99%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,3</b>	<b>46,6</b>	<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 (Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	30,8	31	0,2	31,3	30,8	0,5	31,1	31	53,6
60	30,9	30,9	0	31,1	30,7	0,4	31,1	31	49,6
90	31	31	0	31	30,7	0,3	31,3	31,3	48,9
120	30,9	31	0,1	30,9	30,8	0,1	31,7	31,6	48,3
150	30,9	30,9	0	30,9	30,8	0,1	32,2	32	48
180	30,9	30,9	0	30,8	30,8	0	32,7	32,4	47,9
210	30,9	30,9	0	30,9	30,8	0,1	33,1	32,7	47,7
240	31	31	0	30,9	30,8	0,1	33,6	33,1	47,6
270	31,1	31	0,1	30,9	30,9	0	34,1	33,4	47,4
300	31,1	31,1	0	31	31	0	34,6	33,8	47,3
330	31,2	31,2	0	31	31	0	35	34,1	47,1
360	31,3	31,2	0,1	31	31	0	35,5	34,5	47,1
390	31,4	31,3	0,1	31,1	31,1	0	35,9	34,8	46,9
420	31,5	31,4	0,1	31,1	31,1	0	36,4	35,1	46,9
450	31,5	31,5	0	31,1	31,2	0,1	36,8	35,4	46,8
480	31,7	31,5	0,2	31,1	31,2	0,1	37,2	35,6	46,7
510	31,7	31,6	0,1	31,2	31,3	0,1	37,7	36	46,5
540	31,8	31,7	0,1	31,2	31,3	0,1	38,1	36,2	46,4
570	31,9	31,7	0,2	31,3	31,4	0,1	38,5	36,5	46,3
600	32	31,8	0,2	31,3	31,4	0,1	39	36,8	46,3
630	32,1	31,9	0,2	31,4	31,5	0,1	39,4	37,1	46,2
660	32,2	32	0,2	31,4	31,6	0,2	39,8	37,4	46,1
690	32,2	32,1	0,1	31,4	31,7	0,3	40,2	37,6	45,9
720	32,3	32,1	0,2	31,4	31,8	0,4	40,6	37,9	45,8
750	32,4	32,2	0,2	31,6	31,8	0,2	41	38,2	45,6
780	32,5	32,3	0,2	31,6	31,9	0,3	41,3	38,3	45,2

<b>810</b>	32,6	32,4	0,2	31,7	32	0,3	41,7	38,6	45
<b>840</b>	32,7	32,4	0,3	31,7	32,1	0,4	42,1	38,8	44,7
<b>870</b>	32,8	32,5	0,3	31,7	32,1	0,4	42,5	39,2	44,2
<b>900</b>	32,9	32,6	0,3	31,8	32,2	0,4	42,8	39,4	43,3
<b>930</b>	32,9	32,7	0,2	31,8	32,2	0,4	43,2	39,6	41,9
<b>960</b>	33,1	32,8	0,3	31,9	32,3	0,4	34,5	39,8	45
<b>990</b>	33,1	32,8	0,3	32	32,5	0,5	43,3	39,5	45,6
<b>1020</b>	33,1	32,8	0,3	31,9	32,5	0,6	43	39,1	45,8
<b>1050</b>	33,2	32,9	0,3	32	32,5	0,5	42,6	38,7	45,9
<b>1080</b>	33,2	32,9	0,3	32,2	32,5	0,3	42,2	38,3	46,7
<b>1110</b>	33,2	33	0,2	32,3	32,6	0,3	41,8	38	46,7
<b>1140</b>	33,3	33	0,3	32,3	32,6	0,3	39,7	37,7	46,2
<b>1170</b>	33,3	33,1	0,2	32,4	32,6	0,2	38,6	37,8	46,3
<b>1200</b>	33,3	33,1	0,2	32,4	32,7	0,3	41	37,9	46,5
<b>Average</b>	<b>32,05</b>	<b>31,91</b>	<b>0,16</b>	<b>31,45</b>	<b>31,60</b>	<b>0,2</b>	<b>37,9</b>	<b>36,2</b>	
<b>Max</b>	<b>33,3</b>	<b>33,1</b>	<b>0,3</b>	<b>32,4</b>	<b>32,7</b>	<b>0,6</b>	<b>43,3</b>	<b>39,8</b>	<b>53,6</b>
<b>Min</b>	<b>30,8</b>	<b>30,9</b>	<b>0</b>	<b>30,8</b>	<b>30,7</b>	<b>0</b>	<b>31,1</b>	<b>31</b>	<b>41,9</b>



**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,1% 0,6 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Kamis, 23 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>11:54</b>	<b>12:09</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,3</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>29,5</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,2</b>	<b>97%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,5</b>	<b>46,6</b>	<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	29,4	29,6	0,2	27,6	28,9	1,3	29,5	29,6	53,2
60	29,4	29,5	0,1	27,5	28,9	1,4	29,5	29,6	51,7
90	29,4	29,4	0	27,4	28,9	1,5	29,7	29,7	48,6
120	29,4	29,4	0	27,4	28,8	1,4	30,2	30,1	48,3
150	29,4	29,5	0,1	27,4	28,7	1,3	30,7	30,5	48
180	29,5	29,5	0	27,4	28,7	1,3	31,3	30,9	47,8
210	29,5	29,5	0	27,4	28,7	1,3	31,9	31,4	47,7
240	29,6	29,6	0	27,6	28,8	1,2	32,4	31,8	47,6
270	29,7	29,7	0	27,6	28,8	1,2	33	32,1	47,4
300	29,8	29,8	0	27,7	28,8	1,1	33,6	32,6	47,3
330	29,8	29,8	0	27,7	28,9	1,2	34,1	33	47,2
360	29,9	30	0,1	27,8	29	1,2	34,7	33,4	47,1
390	30	30	0	27,9	29,1	1,2	35,2	33,8	47
420	30	30	0	27,9	29,1	1,2	35,3	34,2	46,9
450	30,1	30,1	0	28	29,1	1,1	35,8	34,5	46,8
480	30,2	30,2	0	28	29,2	1,2	36,3	34,8	46,7
510	30,3	30,3	0	28	29,2	1,2	36,7	35,1	46,6
540	30,4	30,3	0,1	28	29,3	1,3	37,2	35,5	46,5
570	30,5	30,4	0,1	28,1	29,4	1,3	37,6	35,7	46,4
600	30,6	30,5	0,1	28,2	29,4	1,2	38,1	36	46,2
630	30,7	30,6	0,1	28,2	29,5	1,3	38,5	36,3	46,1
660	30,7	30,7	0	28,3	29,6	1,3	39	36,6	46
690	30,8	30,7	0,1	28,4	29,6	1,2	39,4	36,8	45,9
720	30,9	30,8	0,1	28,5	29,6	1,1	39,8	37,1	45,7
750	31	30,9	0,1	28,5	29,7	1,2	40,2	37,4	45,5
780	31	31	0	28,6	29,7	1,1	40,6	37,7	45,3
810	31,1	31	0,1	28,6	29,8	1,2	41	37,9	45
840	31,2	31,1	0,1	28,7	29,9	1,2	41,3	38,2	44,6
870	31,3	31,2	0,1	28,8	29,9	1,1	41,8	38,5	44

<b>900</b>	31,4	31,3	0,1	28,8	30	1,2	42,2	38,9	43
<b>930</b>	31,4	31,3	0,1	28,9	30	1,1	42,7	39,2	44,4
960	31,6	31,4	0,2	28,9	30,1	1,2	42,7	39,1	45,5
<b>990</b>	31,6	31,5	0,1	29	30,2	1,2	42,3	38,7	45,9
<b>1020</b>	31,7	31,6	0,1	29,2	30,3	1,1	41,9	38,3	46,1
<b>1050</b>	31,7	31,6	0,1	29,3	30,3	1	41,4	37,9	46,2
<b>1080</b>	31,8	31,7	0,1	29,3	30,4	1,1	41	37,5	46,3
<b>1110</b>	31,9	31,7	0,2	29,2	30,5	1,3	40,6	37,1	46,4
<b>1140</b>	31,9	31,8	0,1	29,4	30,5	1,1	40,2	36,8	46,5
<b>1170</b>	32	31,8	0,2	29,5	30,5	1	39,8	36,4	46,5
<b>Average</b>	<b>30,58</b>	<b>30,53</b>	<b>0,07</b>	<b>28,27</b>	<b>29,48</b>	<b>1,21</b>	<b>37,16</b>	<b>35,15</b>	
<b>Max</b>	<b>32</b>	<b>31,8</b>	<b>0,2</b>	<b>29,5</b>	<b>30,5</b>	<b>1,5</b>	<b>42,7</b>	<b>39,2</b>	<b>53,2</b>
<b>Min</b>	<b>29,4</b>	<b>29,4</b>	<b>0</b>	<b>27,4</b>	<b>28,7</b>	<b>1</b>	<b>29,5</b>	<b>29,6</b>	<b>43</b>

**Data Heat Exchanger Counter Flow Nanofluid 0,1% 0,9 LPM**

Tanggal :	Kamis, 23 November 2023		
Waktu Pengambilan Data	16:34	16:49	
Suhu Ruangan Sebelum Discharge	29,3		
Suhu Ruangan setelah Discharge	29,4		
Voltase sebelum Discharge	53,3	97%	
Voltase setelah Discharge	41,2	46,2	0%

Discharge									
Detik	Temp 1 (Nanofluid In)	Temp 2 (Nanofluid Out)	Delta T1	Temp 3 (Coolant out)	Temp 4 (Coolant In)	Delta T2	Baterai	Baterai	Volt
30	30	30,2	0,2	28,8	28,7	0,1	29,8	30	53,3
60	30,4	30,2	0,2	29	29,2	0,2	29,8	29,9	50
90	30,5	30,3	0,2	29,9	29,3	0,6	30,1	30,3	48,8
120	30,5	30,4	0,1	30,1	29,6	0,5	30,7	30,7	48,4
150	30,5	30,5	0	30,1	29,8	0,3	31,3	31,2	48,1
180	30,6	30,6	0	30,2	30	0,2	31,9	31,8	48
210	30,7	30,6	0,1	30,2	30,1	0,1	32,5	32,4	47,8
240	30,8	30,6	0,2	30,2	30,1	0,1	33,1	32,9	47,6
270	30,9	30,7	0,2	30,2	30,1	0,1	33,7	33,5	47,5
300	30,9	30,8	0,1	30,1	30,1	0	34,3	33,9	47,3
330	31	30,9	0,1	30,2	30,2	0	34,8	34,4	47,2
360	31	30,9	0,1	30,6	30,2	0,4	35,4	34,8	47,1
390	31,1	30,9	0,2	30,3	30,2	0,1	35,8	35,2	47
420	31,1	31	0,1	30,2	30,2	0	36,4	35,6	46,9
450	31,2	31,1	0,1	30,3	30,3	0	36,8	36	46,8
480	31,3	31,1	0,2	30,3	30,4	0,1	37,3	36,4	46,6
510	31,3	31,2	0,1	30,3	30,4	0,1	37,8	36,7	46,5
540	31,4	31,2	0,2	30,3	30,4	0,1	38,2	37,1	46,4
570	31,5	31,3	0,2	30,4	30,5	0,1	38,7	37,4	46,3
600	31,6	31,4	0,2	30,4	30,5	0,1	39,1	37,7	46,2
630	31,7	31,5	0,2	30,5	30,6	0,1	39,6	38,1	46,1
660	31,7	31,5	0,2	30,5	30,6	0,1	40	38,4	45,9
690	31,8	31,6	0,2	30,5	30,6	0,1	40,4	38,8	45,8
720	31,9	31,7	0,2	30,6	30,7	0,1	40,9	39,1	45,6
750	31,9	31,7	0,2	30,7	30,8	0,1	41,3	39,4	45,4
780	32	31,8	0,2	30,7	30,8	0,1	41,7	39,7	45,2
810	32,1	31,9	0,2	30,7	30,9	0,2	42	40	44,9
840	32,2	31,9	0,3	30,8	30,9	0,1	42,4	40,2	44,5
870	32,2	32	0,2	30,8	31	0,2	42,8	40,5	43,8
900	32,3	32,1	0,2	30,8	31	0,2	43,2	40,9	42,6

<b>930</b>	32,4	32,1	0,3	30,9	31	0,1	43,3	41,3	44,2
960	32,5	32,2	0,3	30,9	31,1	0,2	43,6	41,1	45,3
<b>990</b>	32,5	32,3	0,2	31	31,1	0,1	43,1	40,6	45,8
<b>1020</b>	32,6	32,3	0,3	31	31,1	0,1	42	40,1	46
<b>1050</b>	32,6	32,3	0,3	31	31,2	0,2	41,5	39,6	46,2
<b>1080</b>	32,6	32,4	0,2	31	31,3	0,3	41,6	39,2	46,3
<b>1110</b>	32,7	32,4	0,3	31,1	31,3	0,2	41,1	38,6	46,4
<b>1140</b>	32,7	32,4	0,3	31,1	31,4	0,3	40,7	38,3	46,5
<b>Average</b>	<b>31,54</b>	<b>31,37</b>	<b>0,2</b>	<b>30,44</b>	<b>30,47</b>	<b>0,2</b>	<b>37,9</b>	<b>36,6</b>	
<b>Max</b>	<b>32,7</b>	<b>32,4</b>	<b>0,3</b>	<b>31,1</b>	<b>31,4</b>	<b>0,6</b>	<b>43,6</b>	<b>41,3</b>	<b>53,3</b>
<b>Min</b>	<b>30</b>	<b>30,2</b>	<b>0</b>	<b>28,8</b>	<b>28,7</b>	<b>0</b>	<b>29,8</b>	<b>29,9</b>	<b>42,6</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,1% 0,3 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Kamis, 23 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>20:10</b>	<b>20:25</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>			<b>29,2</b>
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>			<b>29,1</b>
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,5</b>	<b>98%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>40,7</b>		

Discharge									
Detik	Temp 1 (Nanofluid In)	Temp 2 (Nanofluid Out)	Delta T1	Temp 3 (Coolant In)	Temp 4 (Coolant Out)	Delta T2	Baterai	Baterai	Volt
30	29,7	29,4	0,3	28	28	0	30	30,1	53,3
60	29,6	29,5	0,1	28	28,2	0,2	30	30,1	51,1
90	29,8	29,6	0,2	28,1	28,4	0,3	30,3	30,5	48,9
120	29,4	29,9	0,5	28,2	28,5	0,3	30,8	31	48,5
150	30,1	30	0,1	28,3	28,7	0,4	31,4	31,7	48,1
180	30,3	30,2	0,1	28,5	28,9	0,4	32,1	32,3	47,9
210	30,4	30,2	0,2	28,5	28,9	0,4	32,7	32,8	47,5
240	30,5	30,3	0,2	28,6	29,3	0,7	33,3	33,3	47,6
270	30,6	30,3	0,3	28,6	29,3	0,7	33,9	33,9	47,5
300	30,7	30,4	0,3	28,7	29,4	0,7	34,5	34,4	47,4
330	30,8	30,4	0,4	28,7	29,5	0,8	35,1	34,9	47,2
360	30,9	30,5	0,4	28,8	29,6	0,8	35,7	35,3	47
390	31	30,6	0,4	28,9	29,6	0,7	36,3	35,8	46,9
420	31,1	30,7	0,4	29	29,7	0,7	36,8	36,2	46,9
450	31,1	30,8	0,3	29	29,8	0,8	37,4	36,7	46,8
480	31,2	30,9	0,3	29,1	30	0,9	37,9	37,1	46,5
510	31,3	30,9	0,4	29,1	30	0,9	38,4	37,5	46,5
540	31,4	31	0,4	29,1	30,1	1	39	37,9	46,4
570	31,4	31,1	0,3	29,2	30,1	0,9	39,5	38,3	46,2
600	31,5	31,1	0,4	29,3	30,1	0,8	40	38,7	46,1
630	31,6	31,2	0,4	29,3	30,2	0,9	40,5	39,1	45,9
660	31,7	31,3	0,4	29,4	30,2	0,8	41	39,5	45,8
690	31,8	31,3	0,5	29,4	30,3	0,9	41,5	39,9	45,6
720	31,9	31,9	0	29,4	30,4	1	42	40,2	45,5
750	32	31,5	0,5	29,6	30,4	0,8	42,5	40,6	45,3
780	32	31,6	0,4	29,6	30,4	0,8	43	40,9	45
810	32,1	31,7	0,4	29,7	30,5	0,8	43,4	41,2	44,9
840	32,3	31,8	0,5	29,8	30,6	0,8	43,9	41,6	44,6
870	32,3	31,9	0,4	29,9	30,6	0,7	44,3	41,9	43,8
900	32,3	31,9	0,4	29,9	30,6	0,7	44,8	42,3	42,6
930	32,4	32	0,4	30	30,7	0,7	45,3	42,7	47,1

<b>960</b>	32,6	32,1	0,5	30	30,7	0,7	45,5	42,7	44,9
<b>990</b>	32,6	32,1	0,5	30,1	30,8	0,7	45,1	42,3	45,5
<b>1020</b>	32,6	32,32	0,28	30,2	30,9	0,7	44,7	41,9	45,7
<b>1050</b>	32,6	32,2	0,4	30,3	30,9	0,6	44,3	41,4	45,9
<b>1080</b>	32,7	32,2	0,5	30,4	30,9	0,5	43,8	40,9	46,1
<b>1110</b>	32,7	32,2	0,5	30,5	31	0,5	43,4	40,5	46,2
<b>1140</b>	32,7	32,3	0,4	30,6	31	0,4	43	40,1	46,2
<b>1170</b>	32,7	32,3	0,4	30,7	31	0,3	42,5	39,6	46,3
<b>1200</b>	32,7	32,3	0,4	30,8	31,1	0,3	42,1	39,3	46,4
<b>Average</b>	<b>31,48</b>	<b>31,15</b>	<b>0,35</b>	<b>29,33</b>	<b>29,98</b>	<b>0,7</b>	<b>39,0</b>	<b>37,7</b>	
<b>Max</b>	<b>32,7</b>	<b>32,32</b>	<b>0,5</b>	<b>30,8</b>	<b>31,1</b>	<b>1</b>	<b>45,5</b>	<b>42,7</b>	<b>53,3</b>
<b>Min</b>	<b>29,4</b>	<b>29,4</b>	<b>0</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>30,1</b>	<b>42,6</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,1% 0,6 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Jumaat, 24 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>11:58</b>	<b>12:12</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>30</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>30</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,4</b>	<b>99%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,3</b>		<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	29,5	29,7	0,2	29,8	30,6	0,9	30	30,1	53,2
60	29,7	29,8	0,1	29,7	30,6	0,8	30	30	49,8
90	29,8	29,8	0	29,7	30,6	0,8	30,3	30,3	48,7
120	29,9	29,9	0	29,7	30,6	0,7	30,8	30,8	48,3
150	29,9	29,9	0	29,7	30,6	0,7	31,4	31,3	48,1
180	30,1	30,1	0	29,8	30,7	0,6	31,9	31,8	47,9
210	30,2	30,1	0,1	29,7	30,7	0,6	32,5	32,3	47,7
240	30,3	30,2	0,1	29,8	30,8	0,6	33,2	32,8	47,5
270	30,3	30,3	0	29,9	30,8	0,5	33,7	33,2	47,3
300	30,4	30,4	0	29,9	30,8	0,4	34,4	33,8	47,2
330	30,5	30,5	0	30	31	0,5	35	34,2	47,1
360	30,6	30,6	0	30	31	0,4	35,6	34,7	47
390	30,7	30,6	0,1	30,1	31	0,4	36,1	35,1	46,8
420	30,8	30,8	0	30,2	31,1	0,3	36,7	35,6	46,8
450	30,9	30,8	0,1	30,2	31,1	0,3	37,3	36	46,6
480	31	30,9	0,1	30,3	31,2	0,3	37,8	36,4	46,5
510	31,1	31	0,1	30,4	31,2	0,2	38,4	36,8	46,4
540	31,2	31,1	0,1	30,4	31,3	0,2	38,9	37,2	46,3
570	31,2	31,2	0	30,4	31,3	0,1	39,4	37,6	46,2
600	31,3	31,2	0,1	30,5	31,4	0,2	70	38	46,1
630	31,4	31,3	0,1	30,5	31,4	0,1	40,5	38,4	45,9
660	31,5	31,4	0,1	30,6	31,5	0,1	41	38,7	45,8
690	31,6	31,5	0,1	30,6	31,5	0	41,5	39,1	45,7
720	31,7	31,6	0,1	30,7	31,6	0	42	39,4	45,5
750	31,8	31,6	0,2	30,7	31,6	0	42,5	39,8	45,3
780	31,8	31,7	0,1	30,7	31,6	0,1	42,9	40,1	45,1
810	31,9	31,8	0,1	30,8	31,7	0,1	43,4	40,4	44,7
840	32,1	31,9	0,2	30,9	31,8	0,1	43,8	40,7	44,2
870	32,1	32	0,1	31	31,8	0,2	44,3	41,1	43,3
900	32,1	32	0,1	31,1	31,8	0,2	44,9	41,5	41,1

<b>930</b>	32,2	32,1	0,1	31,2	31,9	0,2	45,2	41,8	44,8
<b>960</b>	32,3	32,2	0,1	31,3	32	0,2	45	41,5	45,5
<b>990</b>	32,4	32,2	0,2	31,3	32	0,2	44,6	41,1	45,8
<b>1020</b>	32,4	32,3	0,1	31,3	32,1	0,2	44,1	40,6	46
<b>1050</b>	32,4	32,3	0,1	31,3	32,1	0,2	43,6	40,2	46,2
<b>1080</b>	32,5	32,3	0,2	31,4	32,1	0,2	43,2	39,8	46,3
<b>1110</b>	32,5	32,4	0,1	31,5	32,1	0,3	42,7	39,4	46,3
<b>1140</b>	32,6	32,4	0,2	31,6	32,2	0,2	42,3	39	46,4
<b>1170</b>	32,6	32,4	0,2	31,7	32,2	0,2	41,9	38,6	46,5
<b>Average</b>	<b>31,26</b>	<b>31,19</b>	<b>0,09</b>	<b>30,52</b>	<b>31,37</b>	<b>0,32</b>	<b>39,6</b>	<b>36,9</b>	
<b>Max</b>	<b>32,6</b>	<b>32,4</b>	<b>0,2</b>	<b>31,7</b>	<b>32,2</b>	<b>0,9</b>	<b>70</b>	<b>41,8</b>	<b>53,2</b>
<b>Min</b>	<b>29,5</b>	<b>29,7</b>	<b>0</b>	<b>29,7</b>	<b>30,6</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>41,1</b>



**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,1% 0,9 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Rabu, 25 Oktober 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>14:10</b>	<b>14:22</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,1</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>29,2</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,3</b>	<b>98%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,1</b>		<b>0%</b>

Discharge									
Detik	Temp 1 (Nanofluid In)	Temp 2 (Nanofluid Out)	Delta T1	Temp 3 (Coolant Out)	Temp 4 Coolant In)	Delta T2	Baterai	Baterai	Volt
30	30,4	30,3	0,1	29,8	30,5	0,7	30,2	31,1	52,9
60	30,4	30,3	0,1	29,8	30,5	0,7	31,3	31	49,1
90	30,4	30,3	0,1	29,8	30,5	0,7	31,7	31,5	48,6
120	30,5	30,4	0,1	29,9	30,5	0,6	32,2	32	48,2
150	30,5	30,4	0,1	29,9	30,5	0,6	32,7	32,6	48
180	30,5	30,4	0,1	29,9	30,6	0,7	33,3	32,9	47,8
210	30,6	30,4	0,2	29,9	30,6	0,7	33,7	33,6	47,6
240	30,6	30,5	0,1	30	30,6	0,6	34,3	33,6	47,5
270	30,7	30,5	0,2	30	30,6	0,6	34,6	34,4	47,3
300	30,7	30,6	0,1	30,1	30,7	0,6	34,8	34,9	47,2
330	30,8	30,6	0,2	30,1	30,7	0,6	35,5	35,1	47,1
360	30,9	30,7	0,2	30,2	30,8	0,6	35,7	35,6	46,9
390	30,9	30,7	0,2	30,2	30,8	0,6	36	35,6	46,8
420	31	30,8	0,2	30,3	30,9	0,6	36,3	36	46,7
450	31	30,8	0,2	30,3	30,9	0,6	36,8	36,5	46,5
480	31	30,9	0,1	30,4	30,9	0,5	36,9	36,8	46,4
510	31,1	30,9	0,2	30,4	31	0,6	37,5	36,9	46,2
540	31,2	31	0,2	30,5	31	0,5	37,3	37,1	46,1
570	31,2	31	0,2	30,5	31,1	0,6	38,1	37,5	45,8
600	31,4	31,2	0,2	30,7	31,2	0,5	37,7	37,6	45,5
630	31,4	31,2	0,2	30,7	31,2	0,5	38,3	37,9	48,3
660	31,4	31,2	0,2	30,7	31,2	0,5	39,1	38,3	48,3
690	31,5	31,2	0,3	30,7	31,3	0,6	39,2	38,3	49,2
<b>Average</b>	<b>30,87</b>	<b>30,71</b>	<b>0,17</b>	<b>30,21</b>	<b>30,81</b>	<b>0,60</b>	<b>35,4</b>	<b>35,1</b>	
<b>Max</b>	<b>31,5</b>	<b>31,2</b>	<b>0,3</b>	<b>30,7</b>	<b>31,3</b>	<b>0,7</b>	<b>39,2</b>	<b>38,3</b>	<b>52,9</b>
<b>Min</b>	<b>30,4</b>	<b>30,3</b>	<b>0,1</b>	<b>29,8</b>	<b>30,5</b>	<b>0,5</b>	<b>30,2</b>	<b>31</b>	<b>45,5</b>

**Data Heat Exchanger Counter Flow Nanofluid 0,3% 0,3 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Kamis, 9 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>20:30</b>	<b>20:45</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,8</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>30,5</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,7</b>	<b>99%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,4</b>	<b>47%</b>	<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	30,3	30,3	0	30,4	30,6	0,2	30,3	30,4	53,7
60	30,2	30,3	0,1	30,4	30,6	0,2	30,5	30,5	49,3
90	30,1	30,3	0,2	30,4	30,6	0,2	31	31	48,4
120	30,2	30,3	0,1	30,5	30,5	0	31,6	31,5	48,5
150	30,3	30,4	0,1	30,5	30,5	0	32,2	32,1	48,3
180	30,4	30,4	0	30,5	30,5	0	32,8	32,7	48,7
210	30,4	30,5	0,1	30,5	30,6	0,1	33,4	33,3	47,9
240	30,5	30,5	0	30,6	30,6	0	33,9	33,9	47,8
270	30,7	30,7	0	30,6	30,6	0	34,5	34,4	47,6
300	30,7	30,7	0	30,7	30,7	0	35	34,9	47,5
330	30,8	30,7	0,1	30,7	30,7	0	35,5	35,5	47,4
360	31	30,9	0,1	30,8	30,8	0	36,1	36	47,3
390	31	30,9	0,1	30,8	30,8	0	36,6	36,4	47,1
420	31,1	31	0,1	30,9	30,9	0	37,1	36,9	47,1
450	31,2	31,1	0,1	30,9	30,9	0	37,5	37,3	46,9
480	31,3	31,2	0,1	30,9	30,9	0	38	37,8	46,8
510	31,4	31,3	0,1	31	31	0	38,4	38,7	46,7
540	31,5	31,4	0,1	31	31,1	0,1	38,8	38,5	46,6
570	31,6	31,5	0,1	31,1	31,1	0	39,3	39	46,5
600	31,7	31,6	0,1	31,2	31,2	0	39,8	39,3	46,4
630	31,8	31,6	0,2	31,2	31,3	0,1	40,2	39,7	46,2
660	31,9	31,7	0,2	31,3	31,4	0,1	40,6	40,1	46,1
690	32	31,8	0,2	31,3	31,4	0,1	41,1	40,5	46
720	32,1	31,9	0,2	31,5	31,5	0	41,5	40,9	45,8
750	32,2	32	0,2	31,5	31,6	0,1	42	41,3	45,7

<b>780</b>	32,3	32,1	0,2	31,5	31,6	0,1	42,4	41,7	45,5
<b>810</b>	32,4	32,2	0,2	31,6	31,7	0,1	42,8	42	45,3
<b>840</b>	32,5	32,2	0,3	31,6	31,8	0,2	43,2	42,4	45
<b>870</b>	32,6	32,3	0,3	31,7	31,8	0,1	43,6	42,8	44,6
<b>900</b>	32,7	32,4	0,3	31,7	31,9	0,2	44,1	43,2	44,1
<b>930</b>	32,7	32,4	0,3	31,7	31,9	0,2	44,6	43,6	43,1
<b>960</b>	<b>32,8</b>	<b>32,5</b>	<b>0,3</b>	<b>31,9</b>	<b>32</b>	<b>0,1</b>	<b>45,1</b>	<b>44,1</b>	<b>41,5</b>
<b>990</b>	33	32,6	0,4	31,9	32,1	0,2	45,3	44,4	45,5
<b>1020</b>	33	32,7	0,3	32	32,1	0,1	44,9	44	46
<b>1050</b>	33,1	32,8	0,3	32,1	32,2	0,1	44,5	43,5	46,2
<b>1080</b>	33,1	32,9	0,2	32,1	32,3	0,2	44	43	46,4
<b>Average</b>	<b>31,57</b>	<b>31,45</b>	<b>0,16</b>	<b>31,14</b>	<b>31,22</b>	<b>0,08</b>	<b>38,7</b>	<b>38,3</b>	
<b>Max</b>	<b>33,1</b>	<b>32,9</b>	<b>0,4</b>	<b>32,1</b>	<b>32,3</b>	<b>0,2</b>	<b>45,3</b>	<b>44,4</b>	<b>53,7</b>
<b>Min</b>	<b>30,1</b>	<b>30,3</b>	<b>0</b>	<b>30,4</b>	<b>30,5</b>	<b>0</b>	<b>30,3</b>	<b>30,4</b>	<b>41,5</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,3% 0,6 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Jumat, 10 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>10:50</b>	<b>11:05</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>30,1</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>30</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,5</b>	<b>98%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,5</b>	<b>46,6</b>	<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	30	30	0,2	29,6	29,8	0,4	30,3	30,5	53,5
60	30	30	0,3	29,6	29,7	0,4	30,3	30,4	49,2
90	30,1	30	0,4	29,7	29,7	0,3	30,6	30,7	48,7
120	30,2	30,1	0,5	29,8	29,7	0,3	31,1	31,2	48,5
150	30,2	30,1	0,5	29,8	29,7	0,3	31,5	31,8	48,3
180	30,2	30,2	0,4	29,8	29,8	0,4	32	32,3	48,1
210	30,3	30,2	0,5	29,9	29,8	0,3	32,4	32,8	47,9
240	30,4	30,3	0,5	30	29,9	0,3	33	33,4	47,7
270	30,4	30,4	0,5	30	29,9	0,4	33,4	33,9	47,6
300	30,5	30,4	0,3	30	30,2	0,4	33,9	34,4	47,4
330	30,6	30,5	0,4	30,1	30,2	0,4	34,4	35	47,3
360	30,6	30,6	0,3	30,1	30,3	0,5	34,8	35,4	47,1
390	30,7	30,6	0,4	30,1	30,3	0,5	35,3	35,9	47,1
420	30,7	30,6	0,4	30,1	30,3	0,5	35,7	36,4	46,9
450	30,9	30,7	0,5	30,2	30,4	0,5	36,1	36,9	46,8
480	31	30,8	0,5	30,2	30,5	0,6	36,6	37,3	46,8
510	31,1	30,9	0,5	30,3	30,6	0,6	37	37,8	46,6
540	31,2	31	0,6	30,3	30,6	0,7	37,4	38,1	46,6
570	31,2	31	0,5	30,4	30,7	0,6	37,8	38,6	46,5
600	31,3	31,1	0,5	30,4	30,8	0,7	38,2	39	46,3
630	31,4	31,2	0,6	30,5	30,8	0,7	38,6	39,4	46,2
660	31,4	31,2	0,6	30,5	30,8	0,7	39	39,8	46,1
690	31,5	31,3	0,6	30,6	30,9	0,7	39,3	40,2	45,9
720	31,6	31,4	0,7	30,6	30,9	0,8	39,7	40,6	45,8

<b>750</b>	31,7	31,5	0,7	30,7	31	0,8	40,1	41	45,6
<b>780</b>	31,8	31,5	0,8	30,7	31	0,8	40,5	41,3	45,3
<b>810</b>	31,9	31,6	0,8	30,8	31,1	0,8	40,8	41,7	45,1
<b>840</b>	32	31,7	0,8	30,8	31,2	0,9	41,2	32,1	44,1
<b>870</b>	32	31,8	0,8	30,9	31,2	0,9	41,6	42,5	44,3
<b>900</b>	32,1	31,8	0,9	31	31,2	0,8	42	42,9	43,5
<b>930</b>	32,2	31,9	0,9	31	31,3	0,9	42,3	43,2	42,9
<b>960</b>	32,2	32	0,9	31	31,3	1	42,8	43,6	42,4
<b>990</b>	32,3	32,1	0,9	31,1	31,4	1	43	43,8	45,4
<b>1020</b>	32,3	32,1	0,8	31,1	31,5	1	42,7	43,5	45,9
<b>1050</b>	32,4	32,2	0,9	31,2	31,5	1	42,3	43	46,7
<b>1080</b>	32,5	32,1	0,9	31,2	31,6	0,9	41,9	42,4	46,3
<b>1110</b>	32,5	32,3	0,8	31,3	31,7	1	41,5	41,9	46,4
<b>1140</b>	32,5	32,3	0,8	31,3	31,7	1	41,1	41,3	46,5
<b>1170</b>	32,6	32,4	0,8	31,4	31,8	1	40,7	40,9	46,5
<b>Average</b>	<b>31,29</b>	<b>31,13</b>	<b>0,61</b>	<b>30,46</b>	<b>30,69</b>	<b>0,66</b>	<b>37,51</b>	<b>37,87</b>	
<b>Max</b>	<b>32,6</b>	<b>32,4</b>	<b>0,9</b>	<b>31,4</b>	<b>31,8</b>	<b>1</b>	<b>43</b>	<b>43,8</b>	<b>53,5</b>
<b>Min</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>0,2</b>	<b>29,6</b>	<b>29,7</b>	<b>0,3</b>	<b>30,3</b>	<b>30,4</b>	<b>42,4</b>

**Data Heat Exchanger Counter Flow Nanofluid 0,3% 0,9 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Jumat, 10 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>14:53</b>	<b>15:10</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>30,3</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>30,2</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,5</b>	<b>99%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,2</b>	<b>46,2</b>	<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	31,5	31,6	0,4	31,4	31,1	0,2	31,2	31	53,4
60	31,7	31,6	0,4	31,5	31,3	0,1	31,3	31,4	49,3
90	31,9	31,8	0,3	31,7	31,6	0,1	31,6	31,8	48,7
120	32	31,9	0,4	31,7	31,6	0,2	32	32,4	48,5
150	32	31,9	0,3	31,7	31,7	0,2	32,3	33	48,3
180	32	32	0,2	31,8	31,8	0,2	32,9	33,6	48,1
210	32,1	32	0,3	31,8	31,8	0,2	33,3	34,2	48
240	32,1	32,1	0,2	31,8	31,9	0,3	33,6	34,8	47,8
270	32,1	32,1	0,2	31,8	31,9	0,3	34	35,3	47,7
300	32,2	32,1	0,2	31,8	32	0,3	34,4	35,9	47,5
330	32,3	32,2	0,3	31,9	32	0,3	34,8	36,4	47,4
360	32,3	32,3	0,3	31,9	32	0,4	35,1	37	47,3
390	32,4	32,3	0,4	32	32	0,3	35,5	37,5	47,2
420	32,4	32,4	0,3	32	32,1	0,4	35,8	38	47,1
450	32,5	32,4	0,4	32	32,1	0,4	36,2	38,5	47
480	32,5	32,5	0,3	32	32,2	0,5	36,5	38,9	46,8
510	32,7	32,5	0,5	32,1	32,2	0,4	36,8	39,4	46,8
540	32,7	32,6	0,4	32,1	32,3	0,5	37,3	39,8	46,6
570	32,8	32,7	0,5	32,1	32,3	0,6	39,6	40,3	46,5
600	32,8	32,7	0,6	32,2	32,2	0,5	40	40,7	46,4
630	32,9	32,7	0,6	32,2	32,3	0,5	40,4	41,1	46,3
660	32,9	32,8	0,6	32,2	32,3	0,6	40,8	41,5	46,1

<b>690</b>	33	32,9	0,6	31,5	32,4	1,4	41,3	41,9	46
<b>720</b>	33	32,8	0,6	31,1	32,4	1,7	41,7	42,3	45,9
<b>750</b>	33,1	32,8	0,8	31	32,3	1,8	42	42,7	45,7
<b>780</b>	33,2	32,9	1,1	31	32,1	1,9	42,5	43,1	45,5
<b>810</b>	33,2	32,8	1,2	31,1	32	1,7	42,8	43,5	45,3
<b>840</b>	33,2	32,9	1,3	31,2	31,9	1,7	43,1	43,9	45
<b>870</b>	33,3	32,9	1,4	31,2	31,9	1,7	43,1	44,2	44,6
<b>900</b>	33,3	32,9	1,4	31,2	31,9	1,7	43,3	44,7	43,9
<b>930</b>	33,3	32,9	1,4	31,2	31,9	1,7	43,7	45,1	42,8
<b>960</b>	33,4	33,1	1,3	31,5	32,1	1,6	44,2	45,6	44,1
<b>990</b>	33,4	33,2	1,3	31,6	32,1	1,6	44,3	45,5	45,4
<b>1020</b>	33,5	33,2	1,3	31,7	32,2	1,5	44	45,1	45,8
<b>1050</b>	33,5	33,2	1,3	31,7	32,2	1,5	43,6	44,6	46
<b>1080</b>	33,5	33,2	1,2	31,8	32,3	1,4	43,1	44,1	46,2
<b>1110</b>	33,5	33,3	1,2	31,9	32,3	1,4	42,7	43,6	46,2
<b>1140</b>	33,6	33,3	1,2	32	32,4	1,3	42,3	43,1	46,3
<b>Average</b>	<b>32,73</b>	<b>32,57</b>	<b>0,70</b>	<b>31,69</b>	<b>32,03</b>	<b>0,87</b>	<b>38,5</b>	<b>39,6</b>	
<b>Max</b>	<b>33,6</b>	<b>33,3</b>	<b>1,4</b>	<b>32,2</b>	<b>32,4</b>	<b>1,9</b>	<b>44,3</b>	<b>45,6</b>	<b>53,4</b>
<b>Min</b>	<b>31,5</b>	<b>31,6</b>	<b>0,2</b>	<b>31</b>	<b>31,1</b>	<b>0,1</b>	<b>31,2</b>	<b>31</b>	<b>42,8</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,3% 0,1 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Jumat, 10 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>20:33</b>	<b>20:48</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,2</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>29,6</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,5</b>	<b>98%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,3</b>		

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant Out)</b>	<b>Temp 4 Coolant In)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	31,7	31,6	1,1	30,1	30,6	1,5	30,9	31	53,4
60	31,7	31,5	1,2	30,7	30,5	0,8	31,1	31,1	49,2
90	31,7	31,5	0,7	30,8	31	0,7	31,6	31,6	48,1
120	31,8	31,5	0,5	30,7	31,3	0,8	32,1	32,2	48,4
150	31,8	31,6	0,4	30,8	31,4	0,8	32,7	32,8	48,2
180	31,9	31,7	0,4	31	31,5	0,7	33,2	33,5	48
210	31,9	31,8	0,4	31,1	31,5	0,7	33,8	34,1	47,9
240	32	31,8	0,4	31,2	31,6	0,6	34,3	34,7	47,7
270	32	31,9	0,4	31,3	31,6	0,6	34,9	35,3	47,6
300	32,1	31,9	0,5	31,3	31,6	0,6	35,3	35,8	47,5
330	32,2	32	0,6	31,4	31,6	0,6	35,9	35,5	47,4
360	32,3	32,1	0,7	31,4	31,6	0,7	36,4	37,1	47,2
390	32,3	32,1	0,7	31,5	31,6	0,6	36,9	37,6	47,1
420	32,3	32,1	0,6	31,5	31,7	0,6	37,3	39,1	47
450	32,4	32,2	0,7	31,5	31,7	0,7	37,8	38,6	46,9
480	32,5	32,3	0,7	31,6	31,8	0,7	38,3	39,2	46,7
510	32,6	32,3	0,8	31,6	31,8	0,7	38,6	39,6	46,6
540	32,6	32,4	0,8	31,6	31,8	0,8	39,1	40,2	46,5
570	32,7	32,5	1,2	31,7	31,5	0,8	39,5	40,7	46,4
600	32,8	32,4	1,6	31,8	31,2	0,6	40	41,2	46,3
630	32,9	32,6	1,7	31,8	31,2	0,8	40,4	41,7	46,1
660	33	32,6	2,1	31,8	30,9	0,8	40,8	42,2	46
690	33	32,6	2,2	31,8	30,8	0,8	41,2	42,7	45,9



<b>720</b>	33	32,6	2,2	31,6	30,8	1	41,6	43,2	45,7
<b>750</b>	33,1	32,6	2,2	31,5	30,9	1,1	42	43,7	45,5
<b>780</b>	33,2	32,7	2,2	31,5	31	1,2	42,4	44,1	45,3
<b>810</b>	33,3	32,7	2,2	31,4	31,1	1,3	42,8	44,6	45,1
<b>840</b>	33,3	32,7	2,2	31,5	31,1	1,2	43,2	45	44,9
<b>870</b>	33,3	32,7	2,2	31,5	31,1	1,2	43,6	45,5	44,4
<b>900</b>	33,4	32,9	2,3	31,6	31,1	1,3	44	45,9	43,9
<b>930</b>	33,5	32,9	2,4	31,7	31,1	1,2	44,5	46,5	42,9
<b>960</b>	33,5	32,9	2,3	31,7	31,2	1,2	45	47	44,2
<b>990</b>	33,5	33	2,3	31,7	31,2	1,3	45,1	47	45,5
<b>1020</b>	33,6	33,1	2,3	31,8	31,3	1,3	44,7	46,6	45,9
<b>1050</b>	33,7	33,1	2,3	31,9	31,4	1,2	44,3	46,1	46,1
<b>1080</b>	33,6	33,1	2,2	31,9	31,4	1,2	43,8	45,6	46,2
<b>1110</b>	33,7	33,1	2,2	31,9	31,5	1,2	43,3	45,2	46,3
<b>1140</b>	33,7	33,2	2,2	32	31,5	1,2	42,9	44,7	46,4
<b>1170</b>	33,7	33,2	2,2	32	31,5	1,2	42,5	44,3	46,5
<b>1200</b>	33,7	33,2	2,5	32,1	31,2	1,1	42,1	43,8	46,5
<b>Average</b>	<b>32,78</b>	<b>32,42</b>	<b>1,47</b>	<b>31,48</b>	<b>31,31</b>	<b>0,94</b>	<b>39,2</b>	<b>40,4</b>	
<b>Max</b>	<b>33,7</b>	<b>33,2</b>	<b>2,5</b>	<b>32,1</b>	<b>31,8</b>	<b>1,5</b>	<b>45,1</b>	<b>47</b>	<b>53,4</b>
<b>Min</b>	<b>31,7</b>	<b>31,5</b>	<b>0,4</b>	<b>30,1</b>	<b>30,5</b>	<b>0,6</b>	<b>30,9</b>	<b>31</b>	<b>42,9</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,3% 0,6 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Jumat, 10 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>18:08</b>	<b>12:23</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>30</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>30</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,4</b>	<b>99%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,3</b>		<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant Out)</b>	<b>Temp 4 Coolant In)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	31,2	31,4	1	30,4	30,2	1	30,8	30,5	53,5
60	31,8	31,4	1,8	30,8	30	0,6	31	30,7	49,3
90	32,1	31,7	2,1	30,9	30	0,8	31,6	31,2	48,7
120	32,6	31,8	2,6	30,9	30	0,9	30,9	30	48,2
150	32,1	31,7	2	30,9	30,1	0,8	33,1	33,3	48
180	32,2	31,7	2	30,9	30,2	0,8	33,5	33,9	47,9
210	32,1	31,7	1,9	31	30,2	0,7	34	34,5	47,7
240	32,1	31,7	1,8	31	30,3	0,7	34,4	35,2	47,6
270	32,1	31,7	1,7	31	30,4	0,7	34,8	35,8	47,4
300	32,2	31,8	1,8	31	30,4	0,8	35,1	36,4	47,3
330	32,2	31,8	1,7	31,1	30,5	0,7	35,4	36,9	47,2
360	32,2	31,9	1,6	31,1	30,6	0,8	35,8	37,5	47,1
390	32,2	31,9	1,5	31,2	30,7	0,7	36,1	38	47
420	32,3	32	1,5	31,3	30,8	0,7	36,4	38,5	46,9
450	32,3	32	1,5	31,4	30,8	0,6	36,6	39	46,8
480	32,3	32,1	1,4	31,4	30,9	0,7	36,9	39,6	46,7
510	32,4	32,1	1,4	31,5	31	0,6	37,2	40	46,5
540	32,5	32,1	1,5	31,5	31	0,6	37,4	40,5	46,4
570	32,5	32,2	1,4	31,6	31,1	0,6	37,7	41	46,3
600	32,6	32,3	1,5	31,6	31,1	0,7	38,1	41,5	46,2
630	32,6	32,3	1,4	31,7	31,2	0,6	38,3	41,9	46,1
660	32,7	32,5	1,4	31,8	31,3	0,7	38,6	42,4	45,9
690	32,7	32,5	1,3	31,8	31,4	0,7	38,9	42,9	45,7

<b>720</b>	32,8	32,5	1,4	31,9	31,4	0,6	39	43,4	45,6
<b>750</b>	32,8	32,6	1,3	32	31,5	0,6	39,6	43,9	45,4
<b>780</b>	32,9	32,6	1,3	32	31,6	0,6	39,4	44,3	45,1
<b>810</b>	32,9	32,6	1,3	32	31,6	0,6	39,6	44,8	44,9
<b>840</b>	33	32,7	1,3	32,1	31,7	0,6	39,9	45,3	44,4
<b>870</b>	33	32,8	1,2	32,1	31,8	0,7	40,2	45,7	43,7
<b>900</b>	33,1	32,8	1,3	32,2	31,8	0,6	40,6	46,3	42,5
<b>930</b>	33,1	32,9	1,2	32,2	31,9	0,7	40,9	46,8	44,9
<b>960</b>	33,2	33	1,4	32,3	31,8	0,7	40,6	46,6	45,9
<b>990</b>	33,2	33	1,6	32,3	31,6	0,7	40,1	46,2	46,2
<b>1020</b>	33,3	33	1,7	32,3	31,6	0,7	39,6	45,7	46,4
<b>1050</b>	33,3	33	1,6	32,3	31,7	0,7	39,1	45,2	46,5
<b>1080</b>	33,4	33	1,7	32,3	31,7	0,7	38,6	44,8	46,6
<b>1110</b>	33,4	33,1	1,6	32,3	31,8	0,8	38,2	44,3	46,7
<b>1140</b>	33,4	33,1	1,6	32,3	31,8	0,8	37,8	43,8	46,8
<b>1170</b>	33,4	33,1	1,6	32,3	31,8	0,8	37,5	43,4	46,8
<b>1200</b>	33,5	33,1	1,6	32,4	31,9	0,7	37,1	43	46,8
<b>1230</b>	33,4	33,1	1,5	32,4	31,9	0,7	36,8	42,6	46,9
<b>Average</b>	<b>32,66</b>	<b>32,35</b>	<b>1,56</b>	<b>31,65</b>	<b>31,10</b>	<b>0,70</b>	<b>37,0</b>	<b>40,4</b>	
<b>Max</b>	<b>33,5</b>	<b>33,1</b>	<b>2,6</b>	<b>32,4</b>	<b>31,9</b>	<b>1</b>	<b>40,9</b>	<b>46,8</b>	<b>53,5</b>
<b>Min</b>	<b>31,2</b>	<b>31,4</b>	<b>1</b>	<b>30,4</b>	<b>30</b>	<b>0,6</b>	<b>30,8</b>	<b>30</b>	<b>42,5</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,3% 0,9 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Sabtu, 11 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>11:30</b>	<b>11:46</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,1</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>29,2</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,3</b>	<b>98%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,1</b>		<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant Out)</b>	<b>Temp 4 Coolant In)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	30,9	30,7	1,5	30	29,4	0,7	30,1	30,2	53,4
60	30,8	30,7	1,5	30	29,3	0,7	30,4	30,4	49,2
90	30,8	30,6	1,7	29,9	29,1	0,7	31	31	48,6
120	30,8	30,6	1,6	30	29,2	0,6	31,6	31,7	48,3
150	30,8	30,6	1,6	29,9	29,2	0,7	32,1	32,4	48,1
180	30,8	30,6	1,4	30	29,4	0,6	32,7	33	48
210	30,8	30,6	1,4	30	29,4	0,6	33,3	33,6	47,8
240	30,9	30,7	1,4	30	29,5	0,7	33,3	34,3	47,6
270	30,9	30,7	1,3	30	29,6	0,7	34,4	34,9	47,5
300	30,9	30,7	1,2	30,1	29,7	0,6	34,9	35,4	47,4
330	31	30,8	1,2	30,2	29,8	0,6	35,4	36	47
360	31	30,9	1,2	30,2	29,8	0,7	35,8	36,6	46,8
390	31,1	30,9	1,2	30,2	29,9	0,7	36,3	37,1	46,8
420	31,1	31	1,2	30,3	29,9	0,7	36,7	37,7	46,7
450	31,1	31	1	30,3	30,1	0,7	37,2	38,2	46,5
480	31,2	31,1	1,1	30,4	30,1	0,7	37,6	38,7	46,5
510	31,3	31,1	1,1	30,5	30,2	0,6	38	39,3	46,4
540	31,3	31,2	1	30,5	30,3	0,7	38,4	39,8	46,3
570	31,4	31,3	1	30,6	30,4	0,7	38,9	40,2	46,1
600	31,5	31,3	1,1	30,7	30,4	0,6	39,3	40,7	46,1
630	31,5	31,4	1,1	30,7	30,4	0,7	39,6	41,2	45,9
660	31,7	31,5	1,4	30,8	30,3	0,7	40	41,7	45,8
690	31,7	31,5	1,4	30,8	30,3	0,7	40,4	42,1	45,6
720	31,7	31,6	1,4	30,9	30,3	0,7	40,3	42,6	45,4

<b>750</b>	31,9	31,6	1,5	30,9	30,4	0,7	41,2	43	45,2
<b>780</b>	31,9	31,7	1,4	31	30,5	0,7	41,5	43,5	45
<b>810</b>	32	31,7	1,5	31	30,5	0,7	41,9	43,9	44,7
<b>840</b>	32	31,8	1,4	31	30,6	0,8	42,3	44,4	44,5
<b>870</b>	32,1	31,9	1,5	31,1	30,6	0,8	42,6	44,8	43,9
<b>900</b>	32,2	31,9	1,5	31,1	30,7	0,8	43,1	45,3	43,7
<b>930</b>	32,2	32	1,5	31,2	30,7	0,8	43,6	45,8	41,1
<b>960</b>	32,3	32,1	1,5	31,2	30,8	0,9	43,9	46,3	44,9
<b>990</b>	32,3	32,1	1,5	31,3	30,8	0,8	43,5	45,9	45,1
<b>1020</b>	32,3	32,1	1,4	31,3	30,9	0,8	43	45,5	46
<b>1050</b>	32,4	32,2	1,5	31,4	30,9	0,8	42,5	45	46,2
<b>1080</b>	32,4	32,3	1,4	31,5	31	0,8	43	44,5	46,3
<b>1110</b>	32,5	32,3	1,5	31,5	31	0,8	41,6	44	46,4
<b>1140</b>	32,5	32,4	1,4	31,5	31,1	0,9	41,1	43,6	46,5
<b>1170</b>	32,5	32,3	1,5	31,6	31	0,7	40,6	43,1	46,5
<b>1200</b>	32,6	32,4	1,5	31,7	31,1	0,7	40,2	42,7	46,6
<b>1230</b>	32,6	32,4	1,5	31,7	31,1	0,7	39,8	42,3	46,6
<b>1260</b>	32,6	32,4	1,4	31,7	31,2	0,7	39,4	41,8	46,6
<b>Average</b>	<b>31,63</b>	<b>31,45</b>	<b>1,37</b>	<b>30,73</b>	<b>30,26</b>	<b>0,71</b>	<b>38,4</b>	<b>39,9</b>	
<b>Max</b>	<b>32,6</b>	<b>32,4</b>	<b>1,7</b>	<b>31,7</b>	<b>31,2</b>	<b>0,9</b>	<b>43,9</b>	<b>46,3</b>	<b>53,4</b>
<b>Min</b>	<b>30,8</b>	<b>30,6</b>	<b>1</b>	<b>29,9</b>	<b>29,1</b>	<b>0,6</b>	<b>30,1</b>	<b>30,2</b>	<b>41,1</b>

**Data Heat Exchanger Counter Flow Nanofluid 0,5% 0,3 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Selasa 7 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>22:55</b>	<b>23:10</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,3</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>30,3</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,4</b>		
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,1</b>	<b>0%</b>	

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 (Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	29,5	29,5	0	29,6	29,5	-0,1	29,4	29,5	53,4
60	29,7	29,6	0,2	29,7	29,5	-0,1	29,7	29,9	49,3
90	29,9	29,7	0,3	29,7	29,6	0	30	30,2	48,8
120	30	29,9	0,4	29,7	29,6	0,2	30,4	30,3	48,6
150	30,1	29,9	0,4	29,8	29,7	0,1	30,9	30,7	48,4
180	30,1	30	0,3	29,7	29,8	0,3	31,3	31	48,2
210	30,1	30,1	0,3	29,8	29,8	0,3	31,7	31,3	48
240	30,2	30,1	0,3	29,8	29,9	0,3	32,1	31,5	47,9
270	30,3	30,1	0,4	29,8	29,9	0,3	32,6	31,8	47,8
300	30,3	30,2	0,3	29,9	30	0,3	33	32	47,6
330	30,4	30,3	0,4	29,9	30	0,4	32,9	32,6	47,5
360	30,5	30,4	0,4	30	30,1	0,4	33,4	33,9	47,4
390	30,6	30,4	0,6	30	30	0,4	33,8	35,3	47,3
420	30,7	30,5	0,6	30,1	30,1	0,4	34,2	35,8	47,2
450	30,7	30,5	0,5	30,1	30,2	0,4	34,6	36,3	47,1
480	30,8	30,6	0,5	30,1	30,3	0,5	34,9	36,8	47
510	30,9	30,6	0,6	30,2	30,3	0,4	35,2	37,2	46,9
540	31	30,8	0,6	30,2	30,4	0,6	35,6	37,6	46,8
570	31,1	30,9	0,7	30,3	30,4	0,6	35,9	38	46,6
600	31,1	30,9	0,6	30,3	30,5	0,6	36,1	38,4	46,5
630	31,2	31	0,7	30,4	30,5	0,6	36,5	38,8	46,4
660	31,3	31	0,7	30,5	30,6	0,5	36,7	39,1	46,3
690	31,5	31,1	0,8	30,5	30,7	0,6	37	39,5	46,1

<b>720</b>	31,5	31,2	0,7	30,6	30,8	0,6	37,3	39,6	46
<b>750</b>	31,6	31,2	0,8	30,7	30,8	0,5	37,6	39,9	45,8
<b>780</b>	31,7	31,3	0,8	30,8	30,9	0,5	37,9	40,2	45,6
<b>810</b>	31,7	31,4	0,8	30,8	30,9	0,6	38,2	40,6	45,4
<b>840</b>	31,8	31,5	0,8	30,8	31	0,7	38,4	40,9	45,1
<b>870</b>	31,9	31,6	0,8	30,9	31,1	0,7	38,7	41,2	44,6
<b>900</b>	32	31,7	0,9	31	31,1	0,7	39	41,6	44
<b>930</b>	32,1	31,7	0,9	31	31,2	0,7	39,3	42,1	42,8
<b>960</b>	32,1	31,8	0,8	31,1	31,3	0,7	39,7	42,5	44,1
<b>990</b>	32,2	31,9	0,9	31,1	31,3	0,8	39,7	42,6	45,1
<b>1020</b>	32,2	32	0,8	31,2	31,4	0,8	39,4	42,2	45,5
<b>1050</b>	32,4	32	0,9	31,3	31,5	0,7	39	41,7	45,6
<b>1080</b>	32,4	32,1	0,9	31,4	31,5	0,7	38,6	41,3	45,8
<b>Delta</b>	<b>31,04</b>	<b>30,82</b>	<b>0,59</b>	<b>30,36</b>	<b>30,45</b>	<b>0,46</b>	<b>35,3</b>	<b>36,8</b>	
<b>Max</b>	<b>32,4</b>	<b>32,1</b>	<b>0,9</b>	<b>31,4</b>	<b>31,5</b>	<b>0,8</b>	<b>39,7</b>	<b>42,6</b>	<b>53,4</b>
<b>Min</b>	<b>29,5</b>	<b>29,5</b>	<b>0</b>	<b>29,6</b>	<b>29,5</b>	<b>-0,1</b>	<b>29,4</b>	<b>29,5</b>	<b>42,8</b>

**Data Heat Exchanger Counter Flow Nanofluid 0,5% 0,6 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Rabu, 8 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>00:52</b>	<b>01:08</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>28,7</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>28,7</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,6</b>	<b>99%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,4</b>	<b>0%</b>	

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	32,5	32,9	0	32,9	32,5	0	31,8	32,3	53,6
60	32,6	32,8	0	32,9	32,6	-0,1	32	32,7	49,5
90	32,7	32,9	0	33	32,7	-0,1	32,4	32,2	49
120	32,8	32,9	0	33	32,8	-0,1	32,9	33,7	48,8
150	32,9	33	0	33	32,9	0	33,3	34,1	48,6
180	33	33,1	0,1	33,1	32,9	0	33,8	34,6	48,4
210	33,1	33,1	0,1	33,1	33	0	34,3	35,1	48,3
240	33,2	33,2	0,2	33,1	33	0,1	34,7	35,6	48,1
270	33,2	33,2	0,1	33,2	33,1	0	35,1	36	48
300	33,3	33,3	0,1	33,2	33,2	0,1	35,5	36,3	47,8
330	33,5	33,4	0,3	33,3	33,2	0,1	35,9	36,7	47,7
360	33,5	33,4	0,3	33,3	33,2	0,1	36,3	37,1	47,6
390	33,6	33,5	0,3	33,3	33,3	0,2	36,6	37,4	47,5
420	33,6	33,5	0,3	33,3	33,3	0,2	37	37,7	47,4
450	33,7	33,6	0,3	33,4	33,4	0,2	37,3	38	47,2
480	33,8	33,7	0,4	33,4	33,4	0,3	37,7	38,3	47,1
510	33,8	33,7	0,4	33,5	33,4	0,2	38	38,6	47
540	33,9	33,8	0,4	33,5	33,5	0,3	38,3	38,9	46,9
570	34	33,9	0,5	33,6	33,5	0,3	38,7	39,2	46,8
600	34	33,9	0,4	33,6	33,6	0,3	39	39,5	46,6
630	34,1	34	0,5	33,5	33,6	0,5	39,3	39,7	46,5
660	34,2	34	0,6	33,5	33,6	0,5	39,6	40	46,3
690	34,2	34	0,5	33,6	33,7	0,4	39,9	40,3	46,2
720	34,3	34,2	0,6	33,6	33,7	0,6	40,3	40,6	46



<b>750</b>	34,3	34,2	0,5	33,7	33,8	0,5	40,5	40,8	45,9
<b>780</b>	34,4	34,3	0,6	33,8	33,8	0,5	40,8	41,1	45,7
<b>810</b>	34,3	34,3	0,4	33,8	33,9	0,5	41,1	41,3	45,5
<b>840</b>	34,5	34,3	0,7	33,9	33,8	0,4	41,4	41,5	45,2
<b>870</b>	34,5	34,4	0,6	33,9	33,9	0,5	41,7	41,8	44,8
<b>900</b>	34,6	34,4	0,6	34	34	0,4	42	42,1	44,2
<b>930</b>	34,7	34,5	0,7	34	34	0,5	42,3	42,3	43,2
<b>960</b>	34,7	34,6	0,7	34	34	0,6	42,7	42,7	42,2
<b>990</b>	34,8	34,6	0,7	34,1	34,1	0,5	42,7	42,6	45
<b>1020</b>	34,8	34,7	0,6	34,1	34,2	0,6	42,4	42,1	45,5
<b>Delta</b>	<b>33,80</b>	<b>33,74</b>	<b>0,37</b>	<b>33,48</b>	<b>33,43</b>	<b>0,27</b>	<b>37,9</b>	<b>38,3</b>	
<b>Max</b>	<b>34,8</b>	<b>34,7</b>	<b>0,7</b>	<b>34,1</b>	<b>34,2</b>	<b>0,6</b>	<b>42,7</b>	<b>42,7</b>	<b>53,6</b>
<b>Min</b>	<b>32,5</b>	<b>32,8</b>	<b>0</b>	<b>32,9</b>	<b>32,5</b>	<b>-0,1</b>	<b>31,8</b>	<b>32,2</b>	<b>42,2</b>

**Data Heat Exchanger Counter Flow Nanofluid 0,5% 0,9 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Rabu, 8 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>21:35</b>	<b>21:50</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,3</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>29,3</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,5</b>	<b>99%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,1</b>	<b>0%</b>	

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant In)</b>	<b>Temp 4 Coolant Out)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	30,4	30,4	0,1	29,7	30,3	0,7	30,6	30,7	53,5
60	30,4	30,2	0,1	29,4	30,3	0,8	30,8	30,9	49,3
90	30,4	30,2	0,4	29,5	30	0,7	31,1	31,2	48,8
120	30,4	30,3	0,3	29,5	30,1	0,8	31,6	31,7	48,5
150	30,5	30,3	0,3	29,6	30,2	0,7	32	32,3	48,3
180	30,6	30,4	0,3	29,7	30,3	0,7	32,5	32,8	48,1
210	30,6	30,4	0,2	29,8	30,4	0,6	33	33,3	48
240	30,6	30,5	0,2	29,8	30,4	0,7	33,5	33,8	47,8
270	30,7	30,5	0,3	29,9	30,4	0,6	34,1	34,2	47,7
300	30,7	30,6	0,2	29,9	30,5	0,7	34,6	34,7	47,5
330	30,8	30,7	0,2	30	30,6	0,7	35,1	35,1	47,4
360	30,9	30,7	0,3	30	30,6	0,7	35,6	35,6	47,3
390	30,9	30,8	0,2	30,1	30,7	0,7	36,1	36	47,2
420	31	30,8	0,3	30,2	30,7	0,6	36,5	36,5	47,1
450	31	30,9	0,3	30,2	30,7	0,7	37	36,8	47
480	31,1	31	0,3	30,3	30,8	0,7	37,4	37,2	46,8
510	31,2	31	0,3	30,4	30,9	0,6	37,9	37,7	46,7
540	31,3	31,1	0,3	30,4	31	0,7	38,3	37,9	46,6
570	31,3	31,1	0,3	30,5	31	0,6	38,8	38,3	46,5
600	31,3	31,2	0,3	30,5	31	0,7	39,2	38,7	46,4
630	31,4	31,3	0,3	30,6	31,1	0,7	39,7	39,1	46,2
660	31,5	31,3	0,3	30,7	31,2	0,6	40,1	39,4	46,1
690	31,5	31,4	0,3	30,7	31,2	0,7	40,6	39,9	45,9
720	31,7	31,4	0,5	30,8	31,2	0,6	41	40,3	45,8
750	31,7	31,5	0,4	30,8	31,3	0,7	41,5	40,6	45,5

<b>780</b>	31,8	31,6	0,4	30,9	31,4	0,7	41,9	41	45,3
<b>810</b>	31,8	31,7	0,4	30,9	31,4	0,8	42,2	41,3	45,1
<b>840</b>	31,9	31,7	0,5	31	31,4	0,7	42,6	41,6	44,9
<b>870</b>	32	31,8	0,5	31	31,5	0,8	43	42	44,5
<b>900</b>	32	31,9	0,4	31,1	31,6	0,8	43,5	42,4	43,8
<b>930</b>	32,1	31,9	0,4	31,2	31,7	0,7	44	42,7	42,8
<b>960</b>	32,1	32	0,4	31,3	31,7	0,7	44,5	43,1	44,9
<b>990</b>	32,2	32,1	0,4	31,3	31,8	0,8	44,5	43	45,8
<b>1020</b>	32,3	32,1	0,5	31,4	31,8	0,7	44,2	42,7	46,2
<b>Delta</b>	<b>31,24</b>	<b>31,08</b>	<b>0,32</b>	<b>30,39</b>	<b>30,92</b>	<b>0,70</b>	<b>37,9</b>	<b>37,5</b>	
<b>Max</b>	<b>32,3</b>	<b>32,1</b>	<b>0,5</b>	<b>31,4</b>	<b>31,8</b>	<b>0,8</b>	<b>44,5</b>	<b>43,1</b>	<b>53,5</b>
<b>Min</b>	<b>30,4</b>	<b>30,2</b>	<b>0,1</b>	<b>29,4</b>	<b>30</b>	<b>0,6</b>	<b>30,6</b>	<b>30,7</b>	<b>42,8</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,5% 0,3 LPM**

<b>Tanggal :</b>	<b>Kamis, 9 November 2023</b>		
<b>Waktu Pengambilan Data</b>	<b>09:50</b>	<b>10:06</b>	
<b>Suhu Ruangan Sebelum Discharge</b>	<b>29,2</b>		
<b>Suhu Ruangan setelah Discharge</b>	<b>31,5</b>		
<b>Voltase sebelum Discharge</b>	<b>53,4</b>	<b>98%</b>	
<b>Voltase setelah Discharge</b>	<b>41,6</b>	<b>47,1</b>	<b>0%</b>

<b>Discharge</b>									
<b>Detik</b>	<b>Temp 1 (Nanofluid In)</b>	<b>Temp 2 (Nanofluid Out)</b>	<b>Delta T1</b>	<b>Temp 3 (Coolant Out)</b>	<b>Temp 4 (Coolant In)</b>	<b>Delta T2</b>	<b>Baterai</b>	<b>Baterai</b>	<b>Volt</b>
30	29,4	29,4	0,1	29,4	29,3	0	29,5	29,5	49,5
60	29,5	29,5	0,2	29,4	29,3	0,1	29,9	29,8	48,9
90	29,6	29,5	0,3	29,4	29,3	0,1	30,4	30,1	48,5
120	29,6	29,6	0,3	29,4	29,3	0,2	31	30,4	48,3
150	29,7	29,7	0,3	29,5	29,4	0,2	31,5	30,7	48,1
180	29,8	29,7	0,4	29,6	29,4	0,1	32	31	48
210	29,9	29,8	0,5	29,6	29,4	0,2	32,4	32,7	47,8
240	30	29,9	0,5	29,7	29,5	0,2	32,9	33,5	47,7
270	30,1	30	0,5	29,8	29,6	0,2	33,3	34,1	47,5
300	30,1	30	0,5	29,8	29,6	0,2	33,8	34,7	47,4
330	30,3	30,1	0,6	29,9	29,7	0,2	34,3	35,2	47,3
360	30,3	30,2	0,5	29,9	29,8	0,3	34,7	35,7	47,2
390	30,3	30,2	0,6	30	29,7	0,2	35,2	36,2	47,1
420	30,5	30,3	0,7	30,1	29,8	0,2	35,6	36,7	47
450	30,7	30,5	0,8	30,1	29,9	0,4	36	37,3	46,9
480	30,7	30,5	1,7	30,3	29	0,2	36,6	37,7	46,8
510	30,8	30,6	1,3	30,3	29,5	0,3	37,1	38,1	46,6
540	30,8	30,7	1,9	30,3	28,9	0,4	37,5	38,6	46,5
570	31	30,8	2,1	30,4	28,9	0,4	37,9	39	46,4
600	31,1	30,9	1,4	30,5	29,7	0,4	38,3	39,4	46,3
630	31,1	30,9	1	30,5	30,1	0,4	38,7	39,8	46,2
660	31,2	31	1	30,7	30,2	0,3	39	40,3	46
690	31,3	31,1	1	30,7	30,3	0,4	39,4	40,7	45,9
720	31,4	31,2	1	30,9	30,4	0,3	39,8	41	45,7
750	31,5	31,3	1	30,9	30,5	0,4	40,2	41,4	45,6
780	31,6	31,4	1,1	31	30,5	0,4	40,6	41,9	45,3
810	31,7	31,5	1,2	31	30,5	0,5	40,9	42,3	45,1

<b>840</b>	31,8	31,5	1,3	31,1	30,5	0,4	41,5	42,8	44,7
<b>870</b>	31,9	31,6	1,5	31,1	30,4	0,5	41,9	43,2	44,2
<b>900</b>	32	31,7	1,5	31,2	30,5	0,5	42,2	43,6	43,4
<b>930</b>	32,1	31,8	1,4	31,3	30,7	0,5	42,7	44,1	41,9
<b>960</b>	32,1	31,9	1,3	31,4	30,8	0,5	42,8	44,3	45,5
<b>Delta</b>	<b>30,75</b>	<b>30,59</b>	<b>0,92</b>	<b>30,29</b>	<b>29,83</b>	<b>0,30</b>	<b>36,6</b>	<b>37,4</b>	
<b>Max</b>	<b>32,1</b>	<b>31,9</b>	<b>2,1</b>	<b>31,4</b>	<b>30,8</b>	<b>0,5</b>	<b>42,8</b>	<b>44,3</b>	<b>49,5</b>
<b>Min</b>	<b>29,4</b>	<b>29,4</b>	<b>0,1</b>	<b>29,4</b>	<b>28,9</b>	<b>0</b>	<b>29,5</b>	<b>29,5</b>	<b>41,9</b>

**Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,5% 0,6 LPM**

Tanggal :	Kamis, 9 November 2023		
Waktu Pengambilan Data	12:30	12:44	
Suhu Ruangan Sebelum Discharge	30,1		
Suhu Ruangan setelah Discharge	32,2		
Voltase sebelum Discharge	53,6	99%	
Voltase setelah Discharge	41,3		0%

Discharge									
Detik	Temp 1 (Nanofluid In)	Temp 2 (Nanofluid Out)	Delta T1	Temp 3 (Coolant Out)	Temp 4 Coolant In)	Delta T2	Baterai	Baterai	Volt
30	32,5	32,3	2	31,5	30,5	0,8	31,8	31,6	53,6
60	32,5	32,3	2,1	31,7	30,4	0,6	31,9	31,8	49,5
90	32,5	32,2	2,1	31,6	30,4	0,6	32,3	32,2	48,9
120	32,5	32,2	2,2	31,5	30,3	0,7	32,7	32,7	48,6
150	32,5	32,2	2,1	31,4	30,4	0,8	33,1	33,2	48,5
180	32,6	32,2	2,1	31,3	30,5	0,9	33,5	33,7	48,3
210	32,6	32,2	2	31,3	30,6	0,9	33,9	34,2	48,1
240	32,6	32,2	1,9	31,3	30,7	0,9	34,2	34,8	48
270	32,6	32,3	1,9	31,3	30,7	1	34,6	35,3	47,8
300	32,7	32,3	1,8	31,4	30,9	0,9	35	35,8	47,7
330	32,7	32,3	1,8	31,4	30,9	0,9	35,3	36,3	47,5
360	32,7	32,4	1,7	31,5	31	0,9	35,7	36,9	47,4
390	32,8	32,4	1,7	31,6	31,1	0,8	36	37,2	47,3
420	32,8	32,4	1,7	31,6	31,1	0,8	36,4	37,7	47,2
450	32,8	32,5	1,6	31,7	31,2	0,8	36,7	38,1	47,1
480	32,9	32,5	1,6	31,7	31,3	0,8	37,1	38,6	47
510	32,9	32,6	1,5	31,8	31,4	0,8	37,4	39,1	46,9
540	32,9	32,6	1,4	31,8	31,5	0,8	37,7	39,5	46,8
570	33	32,7	1,5	31,9	31,5	0,8	38	40	46,7
600	33,1	32,8	1,5	32	31,6	0,8	38,3	40,5	46,5
630	33,2	32,8	1,5	32	31,7	0,8	38,6	40,9	46,4
660	33,2	32,9	1,4	32,1	31,8	0,8	39	41,4	46,3
690	33,3	32,9	1,5	32,2	31,8	0,7	39,3	41,8	46,1
720	33,3	33	1,4	32,3	31,9	0,7	39,6	42,2	46
750	33,4	33,1	1,4	32,3	32	0,8	39,9	42,7	45,8
780	33,5	33,2	1,4	32,4	32,1	0,8	40,2	43,1	45,6
810	33,6	33,3	1,4	32,5	32,2	0,8	40,4	43,5	45,4

840	33,6	33,3	1,4	32,5	32,2	0,8	40,7	43,9	45,2
870	33,6	33,3	1,3	32,6	32,3	0,7	41	44,2	44,4
900	33,6	33,4	1,3	32,6	32,3	0,8	41,3	44,6	44,3
930	33,7	33,5	1,2	32,7	32,5	0,8	41,6	45	43,4
960	33,8	33,5	1,3	32,8	32,5	0,7	41,9	45,4	44,5
990	34	33,6	1,4	32,9	32,6	0,7	41,9	45,5	45,7
<b>Delta</b>	<b>33,03</b>	<b>32,71</b>	<b>1,64</b>	<b>31,92</b>	<b>31,39</b>	<b>0,79</b>	<b>37,2</b>	<b>38,9</b>	
<b>Max</b>	<b>34</b>	<b>33,6</b>	<b>2,2</b>	<b>32,9</b>	<b>32,6</b>	<b>1</b>	<b>41,9</b>	<b>45,5</b>	<b>53,6</b>
<b>Min</b>	<b>32,5</b>	<b>32,2</b>	<b>1,2</b>	<b>31,3</b>	<b>30,3</b>	<b>0,6</b>	<b>31,8</b>	<b>31,6</b>	<b>43,4</b>

Data Heat Exchanger Paralel Flow Nanofluid 0,5% 0,9 LPM

Tanggal :	Kamis, 9 November 2023		
Waktu Pengambilan Data	16:35	16:50	
Suhu Ruangan Sebelum Discharge	30,4		
Suhu Ruangan setelah Discharge	31,7		
Voltase sebelum Discharge	53,6	99%	
Voltase setelah Discharge	41,3	46,3	0%

Discharge									
Detik	Temp 1 (Nanofluid In)	Temp 2 (Nanofluid Out)	Delta T1	Temp 3 (Coolant Out)	Temp 4 (Coolant In)	Delta T2	Baterai	Baterai	Volt
30	29,8	30,8	1	31,1	31,3	0,2	31,9	31,9	53,6
60	29,7	30,7	1	31,1	31,4	0,3	31,9	32	49,4
90	29,6	30,6	1	31,2	31,4	0,2	32,1	32,2	48,9
120	30,2	30,9	0,7	31,5	31,2	0,3	32,2	32,5	48,6
150	30,8	30,9	0,1	31,6	31,2	0,4	32,7	33	48,4
180	30,8	31,1	0,3	31,7	31,3	0,4	32,9	33,3	48,2
210	30,8	31	0,2	31,8	31,4	0,4	33,1	33,5	48
240	30,8	31	0,2	31,8	31,5	0,3	33,3	33,9	47,9
270	30,9	31,1	0,2	31,8	31,5	0,3	33,4	34	47,7
300	31	31,2	0,2	31,9	31,6	0,3	33,6	34,2	47,6
330	31,1	31,2	0,1	31,9	31,6	0,3	33,7	34,4	47,5
360	31,1	31,2	0,1	32	31,7	0,3	33,9	34,7	47,4
390	31,1	31,2	0,1	32	31,8	0,2	34	34,9	47,2
420	31,1	31,2	0,1	32,1	31,8	0,3	34,2	35	47,1
450	31,1	31,4	0,3	32,1	32	0,1	34,4	35,2	47
480	31,2	31,4	0,2	32,2	32	0,2	34,6	35,4	46,9
510	31,2	31,4	0,2	32,2	32,1	0,1	34,8	35,5	46,8
540	31,3	31,3	0	32,3	32,1	0,2	35	35,9	46,6
570	31,3	31,4	0,1	32,4	32,2	0,2	35,2	36	46,5
600	31,4	31,4	0	32,5	32,3	0,2	35,4	35,9	46,4
630	31,4	31,4	0	32,5	32,3	0,2	35,6	35,6	46,2
660	31,4	31,5	0,1	32,5	32,4	0,1	35,36	36,5	46,1



<b>690</b>	31,5	31,5	0	32,6	32,4	0,2	35,8	36,1	46
<b>720</b>	31,4	31,5	0,1	32,6	32,4	0,2	35,9	37	45,9
<b>750</b>	31,5	31,6	0,1	32,7	32,3	0,4	36	37,3	45,7
<b>780</b>	31,5	31,5	0	32,7	32,3	0,4	36,2	37,4	45,5
<b>810</b>	31,4	31,6	0,2	32,7	32,3	0,4	36,4	37,6	45,3
<b>840</b>	31,5	31,6	0,1	32,8	32,4	0,4	36,6	37,9	45
<b>870</b>	31,4	31,7	0,3	32,9	32,2	0,7	36,7	37,2	44,6
<b>900</b>	31,5	31,8	0,3	33	32,7	0,3	37	37,3	44
<b>930</b>	31,6	31,7	0,1	33,1	32,7	0,4	37	37,3	43
<b>960</b>	31,6	31,6	0	33,1	32,8	0,3	37,6	37,5	44,8
<b>990</b>	31,7	31,6	0,1	33,2	32,7	0,5	37,6	37,5	45,8
<b>1020</b>	31,5	31,5	0	33,2	32,7	0,5	37,5	37,4	46,2
<b>1050</b>	31,4	31,5	0,1	33,2	32,8	0,4	37,3	37,3	46,4
<b>1080</b>	31,4	31,4	0	33,3	32,8	0,5	37,2	37,1	46,4
<b>1110</b>	31,4	31,5	0,1	33,3	32,9	0,4	37	37,1	46,5
<b>Delta</b>	<b>31,12</b>	<b>31,32</b>	<b>0,21</b>	<b>32,34</b>	<b>32,07</b>	<b>0,31</b>	<b>35,0</b>	<b>35,5</b>	
<b>Max</b>	<b>31,7</b>	<b>31,8</b>	<b>1</b>	<b>33,3</b>	<b>32,9</b>	<b>0,7</b>	<b>37,6</b>	<b>37,9</b>	<b>53,6</b>
<b>Min</b>	<b>29,6</b>	<b>30,6</b>	<b>0</b>	<b>31,1</b>	<b>31,2</b>	<b>0,1</b>	<b>31,9</b>	<b>31,9</b>	<b>43</b>

## **Lampiran 2. Dokumentasi Pengambilan Data**





