

**PENGARUH *HEAT EXCHANGER* TERHADAP PERFORMA KOTAK  
PENDINGIN TERMOELEKTRIK DENGAN UNIT PEMBUANG  
PANAS *MINI PIN FIN***

**TUGAS AKHIR**  
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Mencapai Derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Mesin



**Oleh :**

**ZULHAM HADI SAPUTRA**

**F1C014098**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MATARAM**

**Oktober 2020**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH *HEAT EXCHANGER* TERHADAP PERFORMA KOTAK  
PENDINGIN TERMOELEKTRIK DENGAN UNIT PEMBUANG PANAS *MINI PIN*  
*FIN***

**Oleh:**

**ZULHAM HADI SAPUTRA  
F1C014098**

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing :

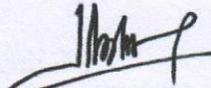
**1. Pembimbing Utama**

**Mirmanto. ST., MT., Ph.D.  
NIP: 197003121998031002**

Tanggal: 18 Oktober 2020

**2. Pembimbing Pendamping**

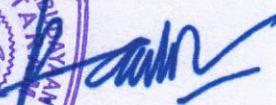
 

**Ida Bagus Alit, ST., MT.  
NIP: 197112261998031001**

Tanggal: 17 Oktober 2020

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Mataram



  
**Parvanto Dwi Setyawan, ST., MT.  
NIP: 197509082000031002**

## TUGASAKHIR

### PENGARUH *HEAT EXCHANGER* TERHADAP PERFORMA KOTAK PENDINGIN TERMOELEKTRIK DENGAN UNIT PEMBUANG PANAS *MINI PIN* *FIN*

Oleh:

**ZULHAM HADI SAPUTRA**  
**F1C014 098**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 18 Oktober 2020

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1  
Jurusan Teknik Mesin

Susunan Tim Penguji :

1. Penguji I

**Nurpatria, ST., M.Eng**

**NIP. 19731223 199903 1 003**

Tanggal: 17 Oktober 2020

2. Penguji II

**I KadeWiratama, ST., M.Sc., Ph.D**

**NIP. 19680505199702 1 002**

Tanggal: 16 Oktober 2020

3. Penguji III

**I Made Mara, ST., M.Sc**

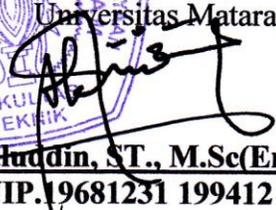
**NIP. 19710610 1998021 005**

Tanggal: 12 Oktober 2020

Mataram, Oktober 2020

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Mataram

   
**Akmaluddin, ST., M.Sc(Eng)., Ph.D.**

**NIP. 19681231 199412 1 001**

## **PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini yang berjudul **“PENGARUH *HEAT EXCHANGER* TERHADAP PERFORMA KOTAK PENDINGIN TERMOELEKTRIK DENGAN UNIT PEMBUANG PANAS *MINI PIN FIN*”** tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan disuatu perguruan tinggi atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu ataupun tertera didalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi serta menyatakan bersedia menerima sanksi terhadap pelanggaran dari pernyataan tersebut.

Mataram, Oktober 2020

Zulham Hadi Saputra

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT berkat rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Pengaruh *Heat Exchanger* Terhadap Performa Kotak Pendingin Termoelektrik Dengan Unit Pembuang Panas *Mini Pin Fin***”. Tugas Akhir ini dilakukan di laboratorium konversi energi jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas mataram. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mengetahui pengaruh *heat exchanger* terhadap COP dan temperatur yang dihasilkan.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi jenjang studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram. Selain itu, tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi dan meningkatkan ilmu pengetahuan bagi pembaca.

Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan penulis menyadari banyak kekurangan yang ada, apa bila ada kesalahan penulisan dan hal lainnya menyangkut tulisan ini mohon kritik dan sarannya untuk penulisan tugas akhir kedepannya yang lebih baik. Sekian tugas ini disusun dengan sebenarnya dan semoga bermanfaat bagi pembaca.

Mataram, Oktober 2020

Zulham Hadi Saputra

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan dukungan baik pikiran maupun materil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, kelancaran serta kemudahan atas petunjuk-Nya sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan.
2. Kedua orang tua tercinta Bapak Wildan S.P, Ibu Nasati S.P, Ibu Salminah S.P dan saudara saya Wawan, Indra Stiawan, Yunita ermasari A.Md.Kep dan semua keluarga saya, yang selalu memeberikan semangat, dukungan dan motivasi serta doa yang tak henti-hentinya tercurakan untuk saya.
3. Bapak Mirmanto, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan waktu, tenaga, bimbingan dan arahan serta nasihat kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Ida Bagus Alit, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama menyusun Tugas Akhir ini.
5. Bapak Nurpatria, ST., M.Eng, Bapak I Kade Wiratama, ST., M.Sc, Ph.D, Bapak I Made Mara, ST., M.Sc selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Paryanto Dwi Setyawan, ST., MT selaku ketua Jurusan Teknik Mesin,
7. Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
8. Bapak Akmaluddin, ST., M.Sc (Eng)., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mataram.
9. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2014 dan seluruh keluarga besar HMM-FT UNRAM yang telah memberikan dukungan.
10. Sahabat tercinta Sri Wulan Kharisma RPP, ST yang selalu membantu, mendukung dan memberi semangat dalam hal apapun.
11. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal atas bantuan yang diberikan kepada penulis.

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                  | <b>.. i</b> |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>              | <b>. ii</b> |
| <b>PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b> | <b>iv</b>   |
| <b>PRAKATA .....</b>                        | <b>. v</b>  |
| <b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>            | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                     | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                   | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                   | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR NOTASI .....</b>                  | <b>xv</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>                        | <b>xvi</b>  |
| <b><i>ABSTRACT</i> .....</b>                | <b>xvii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                    |             |
| 1.1 Latar Belakang .....                    | . 1         |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                    | . 3         |
| 1.3 Batasan Masalah .....                   | . 3         |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                 | . 3         |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                | . 4         |
| 1.6 Tempat Penelitian .....                 | . 4         |
| 1.7 Hipotesis .....                         | . 4         |
| <b>BAB II LANDASAN TEORI</b>                |             |
| 2.1 Tinjauan Pustaka.....                   | . 5         |
| 2.2 Dasar Teori .....                       | . 7         |
| 2.2.1 Heat Exchanger.....                   | . 7         |
| 2.2.2 Jenis-jenis Heat Exchanger .....      | . 8         |
| 2.3 Mini Pin Fin .....                      | 10          |
| 2.4 Pendingin Termoelektrik (Peltier) ..... | 11          |
| 2.4.1 Efek Seebeck.....                     | 14          |
| 2.4.2 Efek Peltier .....                    | 14          |

|  |    |
|--|----|
| 2.4.3 Faktor-faktor dalam elemen Peltier .....                   | 14 |
| 2.5 Heat Sink.....   | 16 |
| 2.6 Perpindahan Kalor .....                                      | 16 |
| 2.6.1 Perpindahan Panas Konduksi.....                            | 18 |
| 2.6.2 Perpindahan Panas Konveksi.....                            | 19 |
| 2.6.3 Perpindahan Panas Radiasi .....                            | 21 |
| 2.7 Daya Listrik .....   | 21 |
| 2.8 Coefisien Of Performance (COP).....                          | 21 |
| <b>BAB III METODELOGI PENELITIAN</b>                             |    |
| 3.1 Alat dan bahan .....   | 22 |
| 3.2 Variabel penelitian.....                                     | 23 |
| 3.3 Prosedur penelitian .....                                    | 23 |
| 3.3.1 Tahap persiapan .....                                      | 23 |
| 3.3.2 Pengujian .....  | 27 |
| 3.3.3 Instalasi pengujian .....                                  | 28 |
| 3.4 Diagram alir penelitian .....                                | 29 |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                               |    |
| 4.1 Hasil peneliian .....  | 30 |
| 4.2 Perhitungan beban pendingin.....                             | 30 |
| 4.2.1 Tanpa beban 0 ml.....                                      | 30 |
| A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin .....           | 30 |
| B. Beban kalor konduksi melalui dinding .....                    | 32 |
| C. Perhitungan daya.....   | 35 |
| D. Perhitungan COP .....   | 35 |
| E. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap mini pin fin ..... | 37 |
| 4.2.2 Dengan beban .....   | 38 |
| 4.2.2.1 Beban 3000 ml .....                                      | 38 |
| A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin.....            | 38 |
| B. Beban kalor air dalam ruang pendingin .....                   | 40 |
| C. Beban kalor botol plastik .....                               | 41 |
| D. Beban kalor konduksi memalui dinding .....                    | 42 |

|  |    |
|--|----|
| E. Perhitungan daya .....  | 44 |
| F. Perhitungan COP .....   | 45 |
| G. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap mini pin fin.....                                  | 47 |
| 4.2.2.2 Beban 6000 ml .....  | 47 |
| A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin.....  | 47 |
| B. Beban kalor air dalam ruang pendingin .....   | 49 |
| C. Beban kalor botol plastik .....   | 50 |
| D. beban kalor konduksi melalui dinding .....  | 51 |
| E. Perhitungan daya .....  | 54 |
| F. Perhitungan COP .....   | 54 |
| G. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap mini pin fin.....                                  | 56 |
| 4.2.2.3 Beban 9000 ml .....  | 57 |
| A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin.....  | 57 |
| B. Beban kalor air dalam ruang pendingin .....   | 59 |
| C. Beban kalor botol plastik .....   | 60 |
| D. beban kalor konduksi melalui dinding .....  | 61 |
| E. Perhitungan daya .....  | 63 |
| F. Perhitungan COP .....   | 64 |
| G. Perhitungan laju aliran yang diserap kalor mini pin fin .....                                 | 66 |
| 4.3 Pembahasan .....   | 67 |
| 4.3.1 Temperatur pendingin termoelektrik dengan heat exchanger dan tanpa<br>heat exchanger ..... | 67 |
| 4.3.1.1 Tanpa Beban 0 ml .....   | 67 |
| 4.3.1.2 Beban 3000 ml.....   | 68 |
| 4.3.1.3 Beban 6000 ml .....  | 70 |
| 4.3.1.4 Beban 9000 ml.....   | 72 |
| 4.3.2. (COP) Tanpa beban (0 ml) dengan heat exchanger dan tanpa<br>heat exchanger .....          | 74 |
| 4.3.2.1 COP Peltier .....  | 74 |
| 4.3.2.2 COP Sistem.....  | 74 |
| 4.3.2.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs) .....   | 75 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.3 COP Beban 3000 ml .....                          | 77 |
| 4.3.3.1 COP Peltier .....                              | 77 |
| 4.3.3.2 COP Sistem.....                                | 77 |
| 4.3.3.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs) ..... | 78 |
| 4.3.4 COP Beban 6000 ml .....                          | 80 |
| 4.3.4.1 COP Peltier .....                              | 80 |
| 4.3.4.2 COP Sistem.....                                | 80 |
| 4.3.4.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs) ..... | 81 |
| 4.3.5 COP Beban 9000 ml .....                          | 83 |
| 4.3.5.1 COP Peltier .....                              | 83 |
| 4.3.5.2 COP Sistem.....                                | 83 |
| 4.3.5.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs) ..... | 84 |

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan ..... | 86 |
| 5.2 Saran .....      | 86 |

## **DAFTAR PUTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 3.1 Tebel kotak pendingin dan bahan yang digunakan.....              | 24 |
| Tabel 3.2 Konduktivitas bahan yang digunakan.....                          | 24 |
| Tabel 4.1 Hasil perhitungan energi udara.....                              | 31 |
| Tabel 4.2 Tebal bahan dan nilai konduktivitas bahan .....                  | 32 |
| Tabel 4.3 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi.....  | 35 |
| Tabel 4.4 Hasil perhitungan daya .....                                     | 35 |
| Tabel 4.5 Hasil perhitungan $Q_C$ , COPp dan COPs.....                     | 36 |
| Tabel 4.6 Hasil perhitungan $Q_{\square m}$ .....                          | 38 |
| Tabel 4.7 Hasil perhitungan energi udara.....                              | 39 |
| Tabel 4.8 Hasil perhitungan energi air.....                                | 41 |
| Tabel 4.9 Hasil perhitungan $E_p$ .....                                    | 42 |
| Tabel 4.10 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi..... | 44 |
| Tabel 4.11 Hasil perhitungan daya .....                                    | 45 |
| Tabel 4.12 Hasil perhitungan $Q_C$ , COPp dan COPs .....                   | 46 |
| Tabel 4.13 Hasil Perhitungan $Q_{\square m}$ .....                         | 47 |
| Tabel 4.14 Hasil perhitungan energi udara .....                            | 49 |
| Tabel 4.15 Hasil perhitungan energi air .....                              | 50 |
| Tabel 4.16 Hasil perhitungan $E_p$ .....                                   | 51 |
| Tabel 4.17 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi..... | 54 |
| Tabel 4.18 Hasil perhitungan daya .....                                    | 54 |
| Tabel 4.19 Hasil perhitungan $Q_C$ , COPp dan COPs.....                    | 55 |

|  |    |
|--|----|
| Tabel 4.20 Hasil perhitungan $Q_{\square m}$ .....                         | 57 |
| Tabel 4. 21 Hasil perhitungan energi udara .....                           | 58 |
| Tabel 4.22 Hasil perhitungan energi air.....                               | 60 |
| Tabel 4.23 Hasil perhitungan $E_p$ .....                                   | 61 |
| Tabel 4.24 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi..... | 63 |
| Tabel 4.25 Hasil perhitungan daya .....                                    | 64 |
| Tabel 4.26 Hasil perhitungan $Q_c$ , $COP_p$ dan $COP_s$ .....             | 65 |
| Tabel 4.27 Perhitungan $Q_{\square m}$ .....                               | 66 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Shell and tube heat exchanger .....                   | 8  |
| Gambar 2.2 Double pipe heat exchanger.....                       | 9  |
| Gambar 2.3 Heat exchanger plat sirip .....                       | 10 |
| Gambar 2.4 Water block fin .....                                 | 10 |
| Gambar 2.5 Termoelektrik tipe TEC2-25408.....                    | 12 |
| Gambar 2.6 Aliran arus listrik termoelektrik.....                | 13 |
| Gambar 2.7 Cara kerja elmen peltier .....                        | 13 |
| Gambar 2.8 Heat sink .....                                       | 16 |
| Gambar 2.9 Perpindahan panas konduksi melalui dinding kotak..... | 19 |
| Gambar 3.1 Dimensi kotak pendingin .....                         | 23 |
| Gambar 3.2 Skema pemasangan komponen dan titik termokopel .....  | 25 |
| Gambar 3.3 Skema mini pin fin .....                              | 26 |
| Gambar 3.4 Skema instalasi penelitian .....                      | 28 |
| Gambar 3.5 Diagram alir penelitian .....                         | 29 |
| Gambar 4.1 Grafik Temperatur ruangan percobaan hari ke-1.....    | 67 |
| Gambar 4.2 Grafik Temperatur ruangan pengujian hari ke-1 .....   | 68 |
| Gambar 4.3 Grafik Temperatur botol pengujian hari ke-1 .....     | 69 |
| Gambar 4.4 Grafik Temperatur air pengujian hari ke-1 .....       | 69 |
| Gambar 4.5 Grafik Temperatur ruangan pengujian hari ke-1 .....   | 70 |
| Gambar 4.6 Grafik Temperatur botol pengujian hari ke-1 .....     | 70 |
| Gambar 4.7 Grafik Temperatur air pengujian hari ke-1 .....       | 71 |
| Gambar 4.8 Grafik Temperatur ruangan pengujian hari ke-1 .....   | 72 |
| Gambar 4.9 Grafik Temperatur botol pengujian hari ke-1 .....     | 72 |
| Gambar 4.10 Grafik Temperatur air pengujian hari ke-1 .....      | 74 |
| Gambar 4.11 Grafik COP <sub>P</sub> tanpa beban hari ke-1 .....  | 75 |
| Gambar 4.12 Grafik COPs tanpa beban hari ke-1 .....              | 75 |
| Gambar 4.13 Diagram COP <sub>P</sub> Tanpa beban .....           | 76 |
| Gambar 4.14 Diagram COPs tanpa beban .....                       | 76 |

|  |          |
|--|----------|
| Gambar 4.15 Grafik COP <sub>p</sub> dengan beban 3000 ml hari ke-1             | ..... 77 |
| Gambar 4.16 Grafik COP <sub>s</sub> dengan beban 3000 ml hari ke-1             | ..... 78 |
| Gambar 4.17 Diagram COP <sub>p</sub> dengan beban 3000 ml                      | ..... 79 |
| Gambar 4.18 Diagram COP <sub>s</sub> dengan beban 3000 ml                      | ..... 79 |
| Gambar 4.19 Grafik COP <sub>p</sub> dengan beban 6000 ml hari ke-1             | ..... 80 |
| Gambar 4.20 Grafik COP <sub>s</sub> dengan beban 6000 ml hari ke-1             | ..... 81 |
| Gambar 4.21 Diagram COP <sub>p</sub> dengan beban 6000 ml                      | ..... 82 |
| Gambar 4.22 Diagram COP <sub>s</sub> dengan beban 6000 ml                      | ..... 82 |
| Gambar 4.23 Grafik COP <sub>p</sub> dengan beban 9000 ml hari ke-1             | ..... 83 |
| Gambar 4.24 Grafik COP <sub>s</sub> dengan beban 9000 ml hari ke-1             | ..... 84 |
| Gambar 4.25 Diagram COP <sub>p</sub> dan COP <sub>s</sub> dengan beban 9000 ml | ..... 85 |
| Gambar 4.26 Diagram COP <sub>p</sub> dan COP <sub>s</sub> dengan beban 9000 ml | ..... 85 |

## DAFTAR NOTASI

|                  |   |
|------------------|---|
| $Q_u$            | = Laju aliran kalor udara (W)                                     |
| $Q_a$            | = Laju aliran kalor air (W)                                       |
| $Q_p$            | = Laju aliran kalor botol plastik (W)                             |
| $Q_{kond}$       | = Laju aliran kalor konduksi (W)                                  |
| $Q_{kon}$        | = Laju aliran kalor konveksi (W)                                  |
| $Q_m$            | = Laju aliran kalor di mini pin fin                               |
| $A$              | = Luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ )                      |
| $COP$            | = <i>Coefficien of performance</i>                                |
| $C_p$            | = Kalor jenis pada tekanan tetap ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )        |
| $E_{u(i)}$       | = Energi ke i dari udara ( J )                                    |
| $E_{a(i)}$       | = Energi ke i dari air ( J )                                      |
| $E_{p(i)}$       | = Energi ke i dari plastik ( J )                                  |
| $E_{kond(i)}$    | = Energi konduksi ( J )   |
| $E_{konv(i)}$    | = Energi konveksi ( J )   |
| $h$              | = koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) |
| $T_h$            | = Temperatur sisi dingin Peltier ( $^\circ C$ )                   |
| $T_c$            | = Temperatur sisi panas Peltier ( $^\circ C$ )                    |
| $P$              | = Daya listrik (W)  |
| $I$              | = Arus (A)  |
| $V$              | = Tegangan (Volt)   |
| $t$              | = Waktu (s)   |
| $K$              | = Konduktivitas bahan ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )                  |
| $R$              | = Tahanan termal dinding ( $^\circ C/W$ )                         |
| $\dot{m}$        | = Laju aliran massa ( kg/s )                                      |
| $Q_h$            | = Kalor yang dilepas pada sisi panas Peltier (W)                  |
| $Q_c$            | = kalor yang diserap pada sisi dingin Peltier (W)                 |
| $\Delta T_{(i)}$ | = Perubahan temperatur, i berjalan dari 1.                        |

## ABSTRAK

Mengikuti perkembangan teknologi peralatan terus mengalami evolusi dan pengembangan di bidang referigrasi, seperti kulkas yang berfungsi untuk menyimpan berbagai jenis makanan dan minuman supaya tahan lama dan tetap awet. Alat pendingin yang ada saat ini masih mengandung CFC (*Cloro Flouro Carbon*) yang berbahaya bagi ozon dan membutuhkan energi besar. Untuk itu perlu adanya alat pendingin yang ramah lingkungan dan rendah energi. Salah satu mesin pendingin yang ramah lingkungan dan dayanya rendah adalah mesin pendingin termoelektrik. Fluida kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah air untuk menyerap sisi panas peltier yang menempel dengan *mini pin fin*.

Penelitian ini mengkaji kemampuan kotak pendingin termoelektrik dengan menggunakan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* terhadap COP dan temperatur ruangan, botol dan air yang dihasilkan, dengan unti pembuang panas *mini pin fin*. Dimana *heat exchanger* akan mendinginkan air yang keluar dari *mini pin fin* yang bersuhu lebih tinggi dari seblumnya, yang menyerap sisi panas peltier, dengan menggunakan beban pendingin 0 ml, 3000 ml, 6000 ml dan 9000 ml. Ukuran kotak pendingin yang digunakan adalah 40,8 cm x 32,6 x 53,8 cm dengan 1 modul Peltier tipe TEC2-25408. Pengujian dilakukan selama 3 jam mulai dari jam 9.00-12.00 WITA dan 3 hari percobaan. Semua data pengujian dicatat menggunakan data logger DAQ MX 9714 NI yang dihubungkan dengan komputer melalui program Labview.

Hasil penelitian menunjukan bahwa COP dan temperatur untuk beban 0 ml, 3000 ml, 6000 ml dan 9000 ml selama tiga hari percobaan dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*, dimana COP dengan *heat exchanger* lebih tinggi dan temepatur yang dihasilkan lebih rendah dari pada tanpa *heat exchanger*, walaupun selama tiga hari tersebut nilai COP nya tidak konstan. Hal ini disebabkan karena daya yang bekerja selama tiga hari berbeda-beda dan tidak teratur.

Kata kunci : Kotak pendingin, Termoelektrik, Heat exchanger, COP.

## **ABSTRACT**

*Following the development of technology, equipment continues to undergo evolution and development in the field of referrals, such as a refrigerator that functions to store various types of food and beverages so that they are durable and long lasting. The existing refrigeration equipment still contains CFC (Cloro Flouro Carbon) which is harmful to ozone and requires large amounts of energy. For that we need a cooling device that is environmentally friendly and low in energy. One of the environmentally friendly and low power cooling machines is the thermoelectric cooling machine. The working fluid used in this research is water to absorb the hot side of the peltier attached to the mini pin fin.*

*This study examines the ability of a thermoelectric cooler box using a heat exchanger and without heat exchanger against COP and room temperature, bottles and water produced, with a mini pin fin heat dissipation unit. Where the heat exchanger will cool the water coming out of the mini pin fin which is at a higher temperature than before, which absorbs the hot side of the peltier, by using a coolant load of 0 ml, 3000 ml, 6000 ml and 9000 ml. The size of the cooler used is 40.8 cm x 32.6 x 53.8 cm with 1 Peltier module type TEC2-25408. The test was carried out for 3 hours starting from 9.00-12.00 WITA and 3 days of trial. All test data were recorded using a DAQ MX 9714 NI logger that was linked to a computer through the Labview program.*

*The results show that COP and temperature for loads 0 ml, 3000 ml, 6000 ml and 9000 ml for three days of experiments with heat exchanger and without heat exchanger, where COP with heat exchanger is higher and the resulting temperature is lower than without heat exchanger, although during those three days the COP was not constant. This is because the power that works for three days is different and irregular.*

*Keywords: Cooler box, Thermoelectric, Heat exchanger, COP.*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Mengikuti perkembangan teknologi dari berbagai lini, modernisasi peralatan terus mengalami evolusi dan pengembangan. Di bidang referigrasi, berbagai aspek terus diriset dan dengan hasil yang signifikan berhasil. Salah satunya dalam peralatan rumah tangga seperti refrigerator, AC, frezzer dan dispenser yang menggunakan *refrigerant* sebagai media pendinginan untuk mendapat suhu yang rendah. *Refrigerant* merupakan suatu zat yang berfungsi sebagai pendingin dimana zat tersebut dapat menyerap panas dari udara yang melewati *evaporator* sehingga udara yang keluar menjadi dingin.

Alat pendingin berfungsi untuk menyimpan berbagai macam bahan masakan, makanan, minuman dan obat-obatan. Berdasarkan peraturan badan pengawas obat dan makanan Republik Indonesia tentang pedoman cara ritel pangan yang baik pada penyimpanan pangan, menjelaskan bahwa saran penyimpanan pangan kering seperti daging, buah, sayur yang dikeringkan, biji-bijian dan hasil olahannya, lemak, minyak serta pangan kaleng disarankan disimpan pada suhu antara 10°C dan 20°C (Wahyu dan Rangkuti 2018).

Sebagian besar peralatan sistem pendingin saat ini masih menggunakan *refrigerant* yang digunakan dalam lemari es atau kulkas yang mengandung CFC (*Cloro Flouro Carbon*). Zat ini berbahaya bagi ozon jika zat tersebut lepas ke atmosfer karena akan mengakibatkan kerusakan pada lapisan ozon di stratosfer yang menyebabkan peningkatan sinar ultraviolet yang diterima oleh manusia di bumi. Paparan sinar ultraviolet yang berlebihan diketahui dapat menimbulkan iritasi mata, hidung, tenggorokan, kulit dan bersifat beracun (Desi, 2017). Mesin pendingin ini juga memerlukan banyak energi listrik sehingga tidak dapat dilakukan penghematan energi. Di masa mendatang diperkirakan kebutuhan energi semakin meningkat, oleh karena itu diperlukan suatu alat pendingin

alternatif yang tidak menggunakan *refrigerant* yang aman bagi lingkungan, serta hemat energi.

Upaya untuk mengatasi penggunaan *refrigerant* yang dapat merusak lapisan ozon saat ini adalah dengan menggunakan bahan kimia lain yang tidak merugikan atau mengaplikasikan metode lain yang tidak menggunakan bahan kimia *refrigerant*. Pendingin termoelektrik merupakan salah satu yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin pengganti sistem kompresi uap. Teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama, kompak, perawatan mudah dan bisa digunakan dalam skala besar dan kecil. Dalam termoelektrik terdapat suatu elemen yang dinamakan elemen Peltier. Peltier memiliki karakteristik yang khas yang dapat mendinginkan tanpa merusak lingkungan dengan memanfaatkan efek Peltier. Efek Peltier merupakan proses pengkonversian energi secara langsung yang diakibatkan perbedaan temperatur yang terjadi setelah diberikan tegangan listrik. Efek Peltier atau termoelektrik merupakan hubungan antara energi panas dan energi listrik yang terjadi pada titik temu antara dua jenis logam yang berbeda. Hal ini mengakibatkan kedua sisi komponen ini memiliki perbedaan suhu sekitar 30-60°C tergantung dari tipe atau model termoelektriknya. Efek termoelektrik ini menyebabkan salah satu sisi komponen ini menjadi dingin dan sisi lainnya menjadi panas. Dengan karakteristik tersebut, komponen ini dapat dimanfaatkan sebagai pendingin atau pemanas.

Peneliti sebelumnya yang dilakukan oleh Mahyudin (2019) tentang kinerja kotak pendingin termoelektrik tenaga solar panel menggunakan unit pembuang panas *mini channel* yang di aliri air dan *heat exchanger* yang digunakan untuk membuang panas dari air kelingkungan. Jika tidak ada *heat exchanger* maka air yang mengalir pada *mini channel* semakin lama semakin panas. Jika air semakin panas maka kinerja kotak pendingin kurang optimal. Namun demikian menggunakan *heat exchanger* berarti menambah konsumsi energi listrik. Oleh sebab itu *Coefficient of Performance* (COP) sistem menjadi lebih rendah.

Untuk itulah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Penelitian yang akan dilakukan ini mengkaji seberapa besar pengaruh *heat exchanger* tersebut terhadap *Coefficient of Performance* (COP) sistem, menggunakan sumber energi listrik dari PLN. Percobaan akan

dilakukan dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* dan unit pembuang panas *mini pin fin*. Diharapkan dengan menggunakan pembuang panas *mini pin fin* kalor yang akan diserap pada sisi panas Peltier lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan *mini channel*. Karena di dalam *mini pin fin* terdapat sirip-sirip kecil berbentuk segi empat yang akan membantu meningkatkan laju perpindahan panas. Disamping itu, kotak pendingin akan diisi dengan air mineral dengan botolnya dan variasi yang dilakukan adalah tanpa beban 0 ml, dan beban 3000 ml, 6000 ml dan 9000 ml.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

Dalam penelitian ini permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana pengaruh *heat exchanger* terhadap COP pendingin termoelektrik dengan unit pembuang panas *mini pin fin*?

## **1.3 BATASAN MASALAH**

Untuk dapat mengarahkan penelitian sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai serta untuk menghindari permasalahan yang meluas maka perlu batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak menganalisis fenomena yang terjadi di dalam *body* termoelektrik dan *mini pin fin*.
2. Menggunakan kotak pendingin yang sudah ada di laboratorium dengan termoelektrik tipe TEC2-25408.
3. Hanya udara, botol plastik dan air mineral 0 ml, 3000 ml 6000 ml dan 9000 ml, yang akan diteliti dan dimasukkan kedalam kotak pendingin.
4. Kondisi lingkungan di anggap tidak berubah secara ekstrim.

## **1.4 TUJUAN PENELITIAN**

1. Mengetahui pengaruh *heat exchanger* terhadap COP alat dan COP Sistem.
2. Mengetahi temperatur terendah di dalam ruang kotak pendingin.

## **1.5 MANFAAT PENELITIAN**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu diharapkan :

1. Dapat memberikan gambaran serta pengetahuan dalam mengembangkan teknologi mesin pendingin.
2. Meberikan terobosan bagi masyarakat guna mengetahui permasalahan pemanasan global.
3. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi.

## **1.6 TEMPAT PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram .

## **1.7 HIPOTESIS**

*Heat exchanger* berpengaruh terhadap COP kotak pendingin termoelektrik dan penurunan suhu ruangan. Namun demikian, dengan adanya *heat exchanger* bertambah pula konsumsi listrik. Oleh sebab itu, dugaan awal adalah dengan *heat exchanger* COP lebih tinggi dan suhu ruang kotak menjadi lebih rendah.

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Aziz dkk., (2017) melakukan penelitian tentang alat pendingin dan pemanas *portable* menggunakan modul termoelektrik tegangan *input* 6 volt dengan tambahan *heat pipe* sebagai media pemindah panas dengan variasi tanpa beban dan beban pendingin 3 buah kaleng 280 ml, 560 ml, 840 ml. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tegangan input 6 volt terhadap temperatur ruang pendingin dan pemanas yang dapat dicapai selama 50 menit dengan *heat pipe* dan tanpa *heat pipe*. Penggunaan modul termoelektrik sebagai pendingin dan pemanas memberikan hasil temperatur yang lebih rendah dengan adanya penambahan *heat pipe* sebagai media pemindah panas. Masing-masing temperatur ruang pendingin dan pemanas tanpa *heat pipe* 24,47°C dan 32,43°C, sedangkan dengan menggunakan *heat pipe* 23,86°C dan 31,37°C. Capaian terendah ruang pendingin dan ruang pemanas tanpa beban pendingin menggunakan *heat pipe* 22,83°C dan 30,52°C serta capaian terendah ruang pendingin dan ruang pemanas dengan beban pendingin 3 minuman kaleng adalah 24,34°C dan 32,27°C. Rata-rata temperatur 1 minuman, 2 minuman, dan 3 minuman kaleng dengan menggunakan *heat pipe* adalah sebesar 25,67°C.

Kennedy dkk., (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur fluida pendingin terhadap unjuk kerja sistim termoelektrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur fluida pendingin pada sisi panas TEC. Penelitian ini menggunakan *box styrofoam* berkapasitas 10 liter dengan 1 sebuah TEC1-12706 dan menggunakan *water block* aluminum sebagai *heat sink*. Air digunakan sebagai fluida kerja bertemperatur 2°C serta laju aliran fluida 1, 3 dan 6 liter per menit. Pada sisi dingin TEC ditempatkan *cold sink* dan *fan* dengan kecepatan udara yang konstan yang kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian pada fluida pendingin bertemperatur 30°C dengan kondisi dan variasi laju aliran yang sama. Hasil menunjukkan penurunan temperatur kotak pendingin sangat dipengaruhi oleh temperatur dan laju aliran pendingin pada sisi panas termoelektrik, temperatur fluida yang rendah menurunkan beda temperatur sisi panas dan

dingin termoelektrik. Pada temperatur fluida pendingin yang sama perubahan laju aliran fluida tidak berpengaruh signifikan terhadap beda temperatur termoelektrik. pada perubahan beda temperatur ( $\Delta T_p$ ) dan serapan kalor  $Q_c$  yang terjadi, hal ini diakibatkan oleh adanya perubahan pergerakan elektron yang ditunjukkan dengan perubahan arus listrik dan menghasilkan peningkatan pelepasan kalor ruangan kotak pendingin, namun di sisi lain akan meningkatkan daya input sistim yang berdampak pada COP sistim.

Mirmanto dkk., (2018), melakukan pengujian tentang unjuk kerja kotak pendingin termoelektrik dengan variasi laju aliran massa air pendingin menggunakan TEC1-12706. Tujuan penelitian ini mencoba menggunakan fluida air untuk mengambil panas dari sisi panas termoelektrik dan seberapa besar COP yang dihasilkan. Laju aliran massa yang digunakan adalah 5 g/s, 10 g/s, dan 15 g/s, dan daya yang digunakan sebesar 41,87 W. Dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa laju aliran massa air pendingin kurang berpengaruh terhadap unjuk kerja kotak pendingin.

Girawan dan Ariyanta (2019) melakukan penelitian tentang optimalisasi sistem pendingin berbasis termoelektrik berpendingin air menggunakan TEC1-12706. Dengan variasi aliran sisi panas termoelektrik dan sisi dingin termoelektrik. Debit aliran sisi panas termoelektrik 0,5, 1 dan 1,5 liter/menit. Sedangkan pada sisi panas dan dingin 0,3 liter/menit. Temperatur diukur tiap 5 menit selama 30 menit. Pengaturan lain yang dilakukan pada aparatus berupa kipas radiator dan pompa air. Kecepatan kipas radiator diatur konstan, mengikuti spesifikasi kipas dengan tegangan 12 VDC. Posisi kipas pada radiator adalah posisi menghisap. Tegangan yang digunakan pada pompa air adalah 12 VDC, dengan arus 0,5 ampere. Tegangan yang digunakan diatur konstan. Alat dan bahan yang digunakan yaitu radiator dengan  $P = 274 \times L = 118 \times T = 311$  mm, pompa kecepatan maksimum 3 liter/menit, *flowmeter* 0,8 – 8 liter/menit, *digital thermometer*, stop kran model *ball valve*, *waterblock* aluminium p x l 40 x 40 mm, *reservoir* diameter x tinggi = 50 x 240 mm ukuran 120 x 120 mm. Dari hasil eksperimen berdasarkan tegangan yang digunakan paling rendah adalah sistem dengan tegangan 9 V. Sedangkan sistem yang menghasilkan COP yang paling tinggi adalah sistem dengan tegangan 6 V. Berdasarkan debit aliran fluida kerja radiator yang digunakan, sistem pendingin yang menghasilkan temperatur paling rendah dan COP paling tinggi pada tegangan 6 V, 9 V dan 12 V secara

berturut-turut pada debit aliran fluida kerja 0,5 dan 1 liter/menit, 0,5 liter/menit dan 0,5 dan 1 liter/menit.

Mahyudin (2019) melakukan penelitian tentang kinerja kotak pendingin termoelektrik TEC2-25408 dengan tenaga solar panel menggunakan mini channel sebagai unit pembuang panas dengan beban 9000 ml air mineral dan tanpa beban. Dari hasil pengujian didapatkan hasil, Suhu  $T_c$  (sisi dingin Peltier) dan suhu ruang kotak pendingin tidak konstan saat mencapai suhu rendahnya (naik turun  $\pm 1$  °C). Intensitas matahari berpengaruh terhadap suhu kotak pendingin baik tanpa beban ataupun dengan beban. Semakin rendah intensitas matahari yang diterima solar cell maka suhu ruang kotak pendingin akan lebih tinggi dan sebaliknya semakin tinggi intensitas matahari yang diterima solar cell maka suhu ruang kotak pendingin akan lebih rendah. Suhu terendah pada pengujian tanpa beban adalah 13,46°C dengan intensitas matahari rata-ratanya 578,8 W/m<sup>2</sup>. Sementara dengan beban 9000 ml air adalah 17,38°C dengan intensitas matahari rata-ratanya 710,67 W/m<sup>2</sup>. COP per jam pada pengujian dengan menggunakan daya solar cell juga tidak teratur (turun naik) dikarenakan daya yang masuk tidak konstan. Sedangkan untuk COP per hari pengujian tanpa beban tertinggi sebesar 0,031 dan 0,025 dengan intensitas matahari rata-ratanya adalah 492,74 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan COP pengujian dengan beban 9000 ml tertinggi sebesar 0,187 dan 0,155 dengan intensitas matahari rata-ratanya adalah 211,63 W/m<sup>2</sup>.

## **2.2 Dasar teori**

### **2.2.1 Heat exchanger**

*Heat exchanger* merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida yang memiliki temperatur berbeda tanpa terjadinya pencampuran antara fluida yang satu dengan yang lain. Proses tersebut dimanfaatkan untuk memindahkan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah pada suatu sistem, yang biasanya berfungsi sebagai pendingin ataupun pemanas. Dalam penerapannya, *heat exchanger* digunakan diberbagai sektor mulai dari pemanas maupun pendingin ruangan sampai sebagai alat yang digunakan dalam instalasi-instalasi produksi tenaga pembangkit. Perpindahan panas yang terjadi pada *heat exchanger* biasanya merupakan perpindahan

kalor secara konveksi antara fluida satu dengan fluida yang lain dan perpindahan kalor secara konduksi yang terjadi pada dinding yang memisahkan kedua fluida (Cengel, 2003).

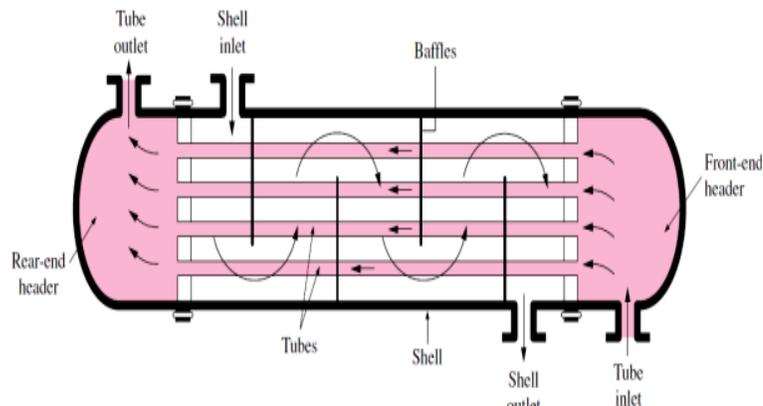
Jenis fluida yang digunakan pada *heat exchanger* dibagi menjadi dua yaitu pendingin cairan dan pendingin udara. *Air cooling* (pendingin udara) menggunakan media udara untuk membantu proses pendinginan. *Water cooling* (pendingin air) menggunakan media air atau cairan untuk membantu proses pendinginan.

*Heat exchanger* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *heat exchanger* bersirip fungsinya yaitu untuk mendinginkan kembali suhu air yang keluar dari *mini pin fin* sehingga suhunya menjadi lebih rendah.

## 2.2.2 Jenis – jenis *heat exchanger*

### 1. *Shell and tube heat exchanger*

*Shell and tube* merupakan jenis penukar kalor yg digunakan pada laju aliran fluida yang relatif besar yang banyak digunakan di industri, yang terdiri dari sebuah tabung (*shell*) yang di dalamnya tersusun berkas pipa (*tube*). Fluida panas mengalir di dalam *tube* sedangkan fluida dingin mengalir di luar *tube* atau di dalam *shell* atau sebaliknya.

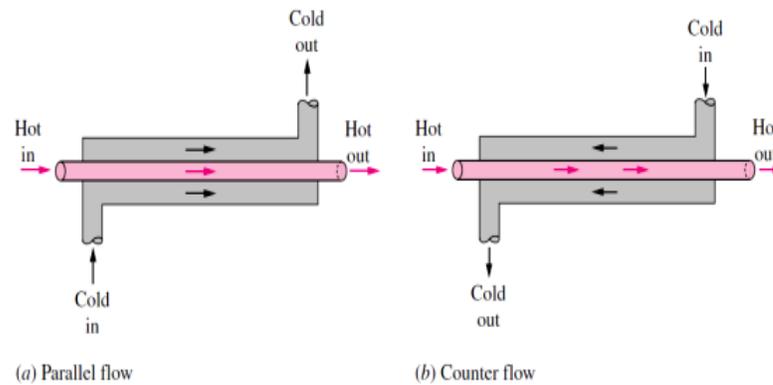


Gambar 2.1 *Shell and tube heat exchanger*, Khairil (2011)

### 2. *Double pipe heat exchanger*

Merupakan jenis penukar kalor yang paling sederhana, biasanya digunakan untuk fluida cair pada laju aliran yang relatif rendah. Salah satu fluida terdapat dalam ruang annulus dan fluida yang lainnya di dalam pipa. Mekanisme perpindahan kalor terjadi secara

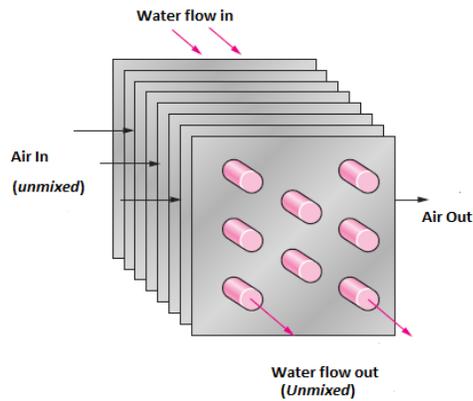
tidak langsung (*indirect contact type*), karena terdapat dinding pemisah antara kedua fluida sehingga kedua fluida tidak bercampur. Fluida yang memiliki suhu lebih rendah (fluida pendingin) mengalir melalui pipa kecil, sedangkan fluida dengan suhu yang lebih tinggi mengalir pada pipa yang lebih besar (pipa annulus). Berdasarkan arah aliran penukar kalor *doube pipe* dibagi menjadi 2 yaitu *parallel flow* dan *counter flow*.



Gambar 2.2 *Duble pipe heat exchanger parallel flow dan counter flow*,  
Khairil (2011)

### 3. *Heat exchanger* plat sirip

*Heat exchanger* pelat bersirip adalah suatu alat penukar kalor yang terdiri dari pelat (*plate*) dan rangka (*frame*). Pada pelat *heat exchanger*, pelat disusun dengan susunan tertentu, sehingga terbentuk dua jalur yang disebut dengan *hot side* dan *cold side*. *Hot side* dialiri dengan cairan dengan suhu relatif lebih panas dan *cold side* dialiri dengan cairan dengan suhu relatif lebih dingin. Sirip-sirip berfungsi untuk memperbesar luas permukaan sehingga laju perpindahan panas secara konveksi menjadi lebih besar. Penukar kalor jenis ini khas dipakai dalam penyejuk udara.



Gambar 2.3 *Heat exchanger* pelat sirip, Khairil (2011)

### 2.3 *Mini pin fin*



Gamabar 2.4 *Water cooling block fin*

(www.google.com)

Sirip digunakan pada alat penukar kalor untuk meningkatkan luasan perpindahan panas antara permukaan utama dengan fluida di sekitarnya. Peningkatan luas perpindahan panas dapat menyebabkan meningkatnya laju perpindahan panas. Idealnya material untuk membuat sirip harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi untuk meminimalkan perbedaan temperatur antara permukaan utama (*prime surface*) dengan permukaan yang diperluas (*extended surface*). Aplikasi sirip sering dijumpai pada sistem pendinginan ruangan, peralatan elektronik, motor bakar, *trailing edge* sudu turbin gas, alat penukar kalor

kompak, dengan udara sebagai media perpindahan panasnya. Ada berbagai tipe sirip pada alat penukar kalor yang telah digunakan, mulai dari bentuk yang relatif sederhana seperti sirip segiempat, silindris, anular, tirus atau pin sampai dengan kombinasi dari berbagai geometri yang berbeda dengan jarak yang teratur dalam susunan segaris ataupun selang-seling. Sirip pin adalah elemen berbentuk silinder atau bentuk lainnya yang dipasang secara tegak lurus terhadap dinding alat penukar kalor, dan fluida pendingin mengalir dalam arah aliran melintang (*cross flow*) terhadap elemen tersebut (Istanto dan Juwana, 2010) .

*Mini pin fin* merupakan alat transfer kalor dengan cara konveksi menggunakan air. *Mini pin fin* bekerja seperti *heat exchanger* dengan cara mengalirkan air yang dihisap oleh pompa yang akan mengenai sisi panas termoelektrik sehingga suhu panas di termoelektrik akan diserap oleh air, kemudian air akan keluar dengan temperatur tinggi dari sebelumnya. *Mini pin fin* dikenal memiliki kemampuan heat transfer lebih tinggi dibandingkan, *mini channel* maupun *heat pipe*.

Persamaan umum pada *mini pin fin* untuk panas yang diserap oleh fluida dapat dihitung dengan :

$$Q_m = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (2.1)$$

Dimana :

$Q_m$  = laju aliran kalor di *mini pin fin* (W)

$\dot{m}$  = Laju aliran massa air (kg/s)

$C_p$  = Kalor spesifik (kJ/kg°C)

$T_o$  = Temperatur keluar aliran fluida (°C)

$T_i$  = Temperatur masuk aliran fluida (°C)

## 2.4 Pendingin Termoelektrik (Peltier)

Pendingin termoelektrik (Peltier) adalah alat yang dapat menimbulkan perbedaan suhu antara kedua sisinya jika dialiri arus listrik searah pada kedua kutub materialnya. Keramik Peltier atau lebih dikenal dengan lempengan Peltier adalah lempengan berbahan dasar keramik. Pendingin termoelektrik, umumnya dibungkus oleh keramik tipis yang berisikan batang-batang Bismuth Telluride di dalamnya. Ketika disuplai tegangan DC 12

volt-15 volt salah satu sisi akan menjadi panas dan sisi lainnya menjadi dingin. Peltier memiliki 2 bagian yang berbeda, yakni.

1. *Cold side (heat absorbed)* yang bekerja menyerap kalor (panas) sehingga bagian ini merupakan lempengan yang dingin.

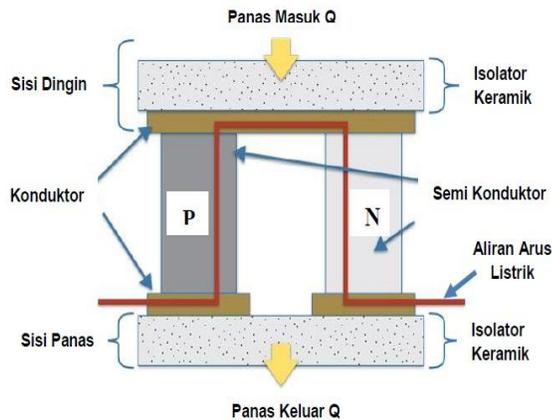
2. *Hot side (heat released)* yang bekerja melepas kalor (panas) sehingga bagian ini merupakan lempengan panas.

Material termoelektrik adalah semikonduktor dimana semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe N dan tipe P. Pendingin termoelektrik merupakan *solid-state technology* yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin selain sistem kompresi uap yang masih memanfaatkan *refrigerant*. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang menggunakan *refrigerant* sebagai media menyerap kalor, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan dan tahan lama.



Gambar 2.5 Termoelektrik tipe TEC2-25408

Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek Peltier, yaitu ketika Peltier dialirkan arus listrik, elektron – elektron mengalir dari kutub negatif ke kutub positif dalam rangkaian. Dalam keadaan ini, elektron akan menyerap energi sehingga sisi ini akan bertemperatur dingin. Di sisi lain, ketika elektron berpindah dari (*N-type* semikonduktor) ke tipe (*P-type* semikonduktor), elektron akan melepaskan energi sehingga pada sisi ini akan bertemperatur panas. Ilustrasi aliran arus pada elemen Peltier (Ardian 2018).



Gambar 2.6 Aliran arus listrik yang menimbulkan suhu dingin dan panas.

Sumber ([www.lairdtech.com](http://www.lairdtech.com))



Gambar 2.7 Cara kerja elemen Peltier

Sumber ([www.lairdtech.com](http://www.lairdtech.com))

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari elemen Peltier. Sehingga nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan ke elemen Peltier.

### 2.4.1 Efek seebeck

Efek *Seebeck* merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua buah bahan yang berbeda kemudian ujungnya di sambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambungan ini, maka akan terjadi arus listrik. Prinsip ini lah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik). Setiap bahan memiliki koefisien *Seebeck* yang berbeda-beda. Semakin besar koefisien *Seebeck*, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik (Pradana, 2020).

### 2.4.2 Efek Peltier

Efek peltier merupakan termoelektrik yang prinsip kerjanya merupakan kebalikan dari efek seeback. Efek peltier, di temukan oleh Jean Peltier pada tahun 1834, adalah fenomena dimana energi panas dapat diserap pada salah satu sambungan konduktor dan dilepaskan pada sambungan konduktor lainnya ketika arus listrik dialirkan pada suatu rangkaian tertutup. Atau dengan kata lain efek peltier mengkonversikan energi listrik menjadi perubahan suhu. (Purwiyanti dkk., 2017)

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari elemen Peltier. Sehingga nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan ke elemen Peltier.

### 2.4.3 Faktor-faktor dalam elemen Peltier

**1. Faktor termal** ada tiga faktor thermal yang mempengaruhi penggunaan elemen Peltier untuk aplikasi yaitu:

#### a. Temperatur permukaan sisi panas ( $T_h$ )

Pada penggunaan elemen Peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi panas. Dimana temperatur sisi panas (*hot side*) elemen Peltier dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q_h = Q_c + P_{in} \quad (2-2)$$

Dimana :

$Q_h$  = Kalor yang dilepas pada bagian *hot side* elemen Peltier (W)

$Q_c$  = Kalor yang diserap pada bagian *cold side* elemen Peltier atau beban pendinginan (W)

$P_{in}$  = Daya input (W)

#### **b. Temperatur permukaan sisi dingin ( $T_c$ )**

Pada penggunaan elemen Peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi dingin. Sisi dingin ini harus ditentukan agar suhunya lebih dingin dari temperatur yang diinginkan pada bagian yang didinginkan. Perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas disebut juga delta temperatur ( $\Delta T$ ) yang ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (2-3)$$

Dimana :

$T_h$  = Temperatur sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_c$  = Temperatur sisi dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )

Pada elemen Peltier, delta temperatur ( $\Delta T$ ) yang dapat dihasilkan maksimalnya sekitar  $30^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$  tergantung dari jenis dan kualitas elemen Peltier yang digunakan dan daya yang diberikan.

#### **c. Heat load yang dapat dialirkan dari obyek yang didinginkan ( $Q_c$ )**

Faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaan elemen Peltier untuk aplikasi umum ialah material alat yang digunakan dan pertimbangan terhadap lingkungan sekitar. *Heat sink* dan *cold sink* harus dibuat dari material yang memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi untuk memudahkan proses perpindahan kalor. Faktor dari lingkungan seperti kelembaban (*humidity*) dan kondensasi dari sisi dingin (*cold side*) yang harus diminimalisir dengan metode sealing yang tepat. Sealing berfungsi untuk melindungi elemen Peltier dari kontak dengan air, gas, mengurangi kemungkinan korosi. Konsleting listrik atau *thermal* yang dapat merusak elemen Peltier.

## 2.5 Heat sink

*Heat sink* adalah material yang digunakan untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada modul sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. *Heat sink* digunakan pada beberapa teknologi pendingin seperti pendingin elektronik, *refrigeration*, dan mesin pemanas. Sebuah *heat sink* dirancang untuk meningkatkan luas kontak permukaan dengan fluida disekitarnya, seperti udara. Kecepatan udara pada lingkungan sekitar, pemilihan material, desain sirip (atau bentuk lainnya) dan *surface treatment* adalah beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan thermal dari *heat sink*. *Thermal adhesive* (juga dikenal dengan *thermal grease*) ditambahkan pada dasar permukaan *heat sink* agar tidak ada udara yang terjebak di antara *heat sink* dengan bagian yang akan diserap panasnya (Anshory, 2017).



Gambar 2.8 *Heat sink*

## 2.6 Perpindahan Kalor

Holman (1995) menjelaskan bahwa perpindahan kalor terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara dua buah benda sehingga energi mengalir dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah. Perpindahan panas tersebut juga memindahkan energi yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)} \quad (2-4)$$

$$E_{a(i)} = m_{a(i)} C_{pa(i)} \Delta T_{a(i)} \quad (2-5)$$

$$E_{p(i)} = m_{p(i)} C_{pp(i)} \Delta T_{p(i)} \quad (2-6)$$

Dimana :

$E_{u(i)}$  = Energi ke i dari udara ( J )

$E_{a(i)}$  = Energi ke i dari air ( J )

$E_{p(i)}$  = Energi ke i dari botol plastik ( J )

$m_{u(i)}$  = Massa zat udara ( kg )

$m_{a(i)}$  = Massa zat air ( kg )

$m_{p(i)}$  = Massa boto plastik ( kg )

$C_{pu(i)}$  = Kalor jenis udara pada tekanan tetap ( J/kg  $^{\circ}$ C )

$C_{pa(i)}$  = Kalor jenis air pada tekanan tetap ( J/kg  $^{\circ}$ C )

$C_{pp(i)}$  = Kalor jenis botol plastik pada tekanan tetap ( J/kg  $^{\circ}$ C )

$\Delta T_{u(i)}$  = Perubahan temperatur udara (  $^{\circ}$ C ), i berjalan dari 1.

$$= ( T_{(i)} - T_{(i-1)} ) \quad (2-7)$$

$\Delta T_{a(i)}$  = Perubahan temperatur air (  $^{\circ}$ C ), i berjalan dari 1.

$$= ( T_{(i)} - T_{(i-1)} ) \quad (2-8)$$

$\Delta T_{p(i)}$  = Perubahan temperatur air (  $^{\circ}$ C ), i berjalan dari 1.

$$= ( T_{(i)} - T_{(i-1)} ) \quad (2-9)$$

Untuk merubah menjadi watt atau laju aliran panas maka persamaannya diganti dengan berikut ini :

$$Q_u = \frac{\sum_1^n E_{u(i)}}{t} \quad (2-9)$$

$$Q_a = \frac{\sum_1^n E_{a(i)}}{t} \quad (2-10)$$

$$Q_p = \frac{\sum_1^n E_{p(i)}}{t} \quad Q_p = 1nEp(i)t \quad (2-11)$$

Dimana:

$Q_u$  = Laju aliran kalor udara ( W )

$Q_a$  = Laju aliran kalor air ( W )

t = Waktu total ( s )

n = Sub akhir atau angka akhir i.

Berdasarkan medium perantara panas, perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi.

### 2.6.1 Perpindahan panas konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan kalor tanpa diikuti perpindahan partikel/molekul benda tersebut. Persamaan yang digunakan dalam perpindahan kalor secara konduksi dikenal dengan persamaan Fourier.

$$E_{k(i)} = -kA \frac{(T_{wo} - T_{wi})(t(i) - t(i-1))}{R} \quad (2-12)$$

Dimana :

$E_{k(i)}$  = Energi konduksi ( J )

R = Tahanan termal ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$T_{wo}$  = Temperatur dinding luar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{wi}$  = Temperatur dinding dalam ( $^{\circ}\text{C}$ )

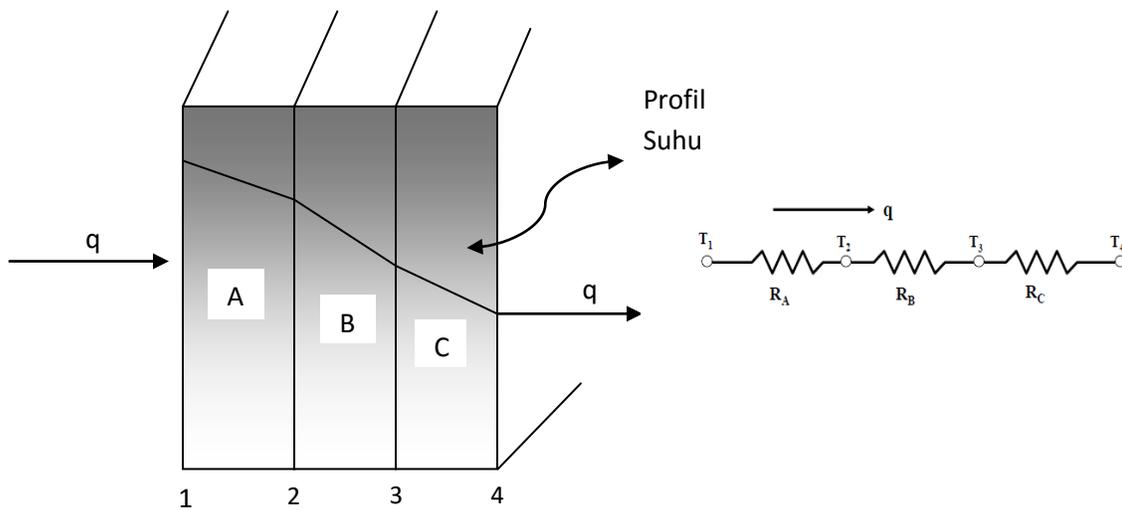
Karna dinding kotak 3 lapis maka persamaan tahanan termalnya :

$$R = R_A + R_B + R_C$$

$$R_A = \frac{\Delta X_A}{K_A A} \quad (2-13)$$

$$R_B = \frac{\Delta X_B}{K_B A} \quad (2-14)$$

$$R_C = \frac{\Delta X_C}{K_C C} \quad (2-15)$$



Gambar 2.9 perpindahan panas konduksi melalui dinding kotak

Dimana :

$R$  = Jumlah tahanan termal ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$R_A$  = Tahanan termal lapisan dinding dalam A ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$R_B$  = Tahanan termal lapisan dinding dalam B ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$R_C$  = Tahanan termal lapisan dinding terluar C ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

Untuk menjadi laju aliran maka di rubah menjadi persamaan berikut :

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{\sum_{k(i)}^n E_{k(i)}}{t} \quad (2-16)$$

Dimana :

$Q_{\text{konduksi}}$  = Laju aliran kalor konduksi ( W )

$t$  = Waktu total ( s )

$n$  = Sub akhir atau angka akhir i.

## 2.6.2 Perpindahan panas konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi merupakan perpindahan kalor yang diikuti dengan perpindahan partikel/molekul benda tersebut atau dengan kata lain terjadi laju aliran massa pada benda atau substansi tersebut. Konveksi terbagi menjadi dua yaitu konveksi

bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas terjadi apabila pergerakan fluida terjadi karena gaya *bouyant* akibat perbedaan densitas fluida itu sendiri. Perbedaan densitas dapat terjadi akibat pemanasan sehingga pada bagian fluida yang terkena pemanasan densitasnya berkurang dan bertukar tempat dengan fluida yang tidak terkena pemanasan (densitasnya lebih rapat). Konveksi paksa terjadi apabila pergerakan fluida terjadi karena gaya atau pengaruh dari luar sehingga fluida tersebut bergerak, misalnya karena *fan*. Persamaan yang digunakan dalam perpindahan panas yang terjadi secara konveksi adalah sebagai berikut (Mahyudin, 2019).

$$E_{konv(i)} = h_{(i)} A (T_{a(i)} - T_{wo(i)} (t_{(i)} - t_{(i-1)})) \quad (2-17)$$

Dimana koefisien perpindahan panas konveksi disekitar kotak pendingin akibat kecepatan angin :

$$h_{(i)} = 5,7 + 3,8 V_{(i)} \quad (2-18)$$

Keterangan :

$E_{konv(i)}$  = Energi konveksi (J)

$h_{(i)}$  = Koefisien perpindahan panas konveksi pada dinding luar kotak pendingin ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ), yaitu untuk perpindahan panas dari udara luar dengan dinding luar kotak pendingin.

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

$T_{a(i)}$  = Suhu lingkungan ( $^\circ C$ )

$T_{wo(i)}$  = Suhu dinding luar ( $^\circ C$ )

$V_{(i)}$  = Kecepatan angin ( m/detik )

Untuk menjadi laju aliran maka di rubah menjadi persamaan :

$$Q_{konveksi} = \frac{\sum_1^n E_{konv(i)}}{t} \quad (2-19)$$

Dimana :

$Q_{konv(i)}$  = Laju aliran kalor konveksi ( W )

$t$  = Waktu total ( s )

$n$  = Segmen akhir atau angka akhir i

### 2.6.3 Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi melalui pancaran gelombang cahaya dari suatu zat ke zat yang lain tanpa zat perantara. Pembahasan termodinamika menunjukkan bahwa penyinar ideal atau benda hitam (*blackbody*), memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat temperatur absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan.

### 2.7 Daya Listrik

Laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (Joule/detik). Secara matematis, daya listrik ditulis sebagai berikut :

$$P_{in} = V I \quad (2-20)$$

Dimana :

$P_{in}$  = Daya listrik (W)

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Arus (A)

### 2.8 Coefficient Of Performance (COP)

COP merupakan perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin terhadap besarnya daya listrik yang masuk.

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad (2-21)$$

$$Q_c = Q_u + Q_a + Q_p + Q_{konduksi} \quad (2-22)$$

Dimana :

$Q_c$  = Laju aliran kalor yang diserap pada bagian *cold side* elemen Peltier atau beban pendinginan (W)

## **BAB III**

### **METODELOGI PENELITIAN**

Penelitian didefinisikan sebagai penyelidikan yang sistematis terorganisir pada fakta atau data, kritis, dan ilmiah terhadap permasalahan yang dilakukan untuk mendapatkan penyelesaian yang objektif. Sedangkan metode penelitian didefinisikan sebagai cara-cara yang digunakan dalam merancang penelitian, pengumpulan data dan analisis data serta cara-cara pengambilan kesimpulan. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode ekperimental, yaitu melakukan pengujian langsung terhadap alat uji agar memperoleh data-data yang diinginkan untuk menjawab atau menyelesaikan permasalahan.

#### **3.1 Alat dan bahan**

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Termoelektrik, tipe TEC2-25408
2. Kotak Pendingin 40,8 cm x 32,6 cm x 53,8 cm.
3. *Thermocouple*
4. *Multimeter*
5. *mini pin fin*
6. Air Mineral 3000 ml 6000 ml dan 9000 ml
7. Pompa mini
8. *Heat sink*
9. *Flow meter*
10. *Heat exchanger*
11. Adoptor
12. Data logger DAQ
13. Komputer

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut :

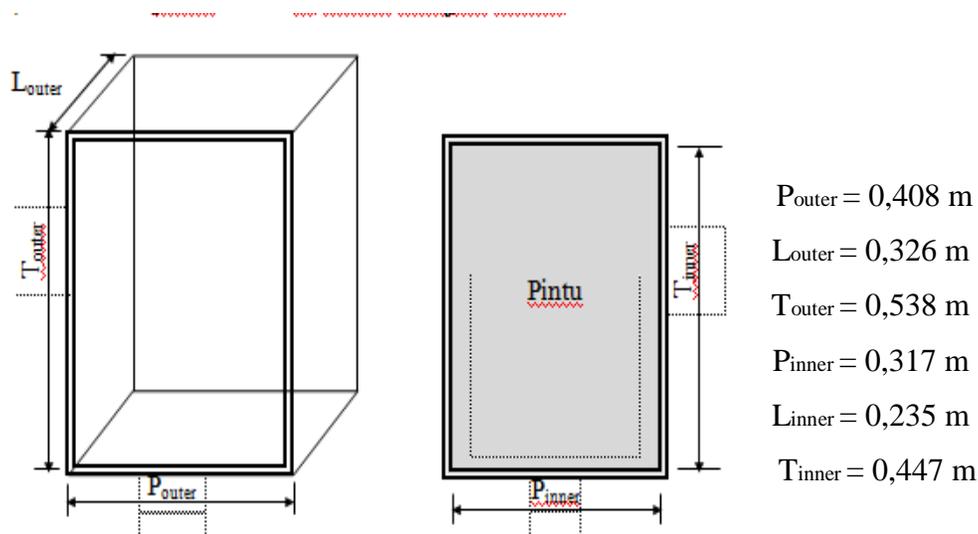
1. Variabel terikat, yaitu variabel yang tidak dapat diatur yang dihasilkan pada penelitian. Dengan menganalisis variabel terikat, diharapkan dapat ditemukan jawaban atau penjelasan mengenai penyelesaian masalah. Yang menjadi variabel terikat dalam penelitian ini adalah COP, penurunan suhu ruangan atau udara di dalam kotak pendingin, suhu air, dan suhu botol.
2. Variabel bebas, yaitu variabel yang dapat diatur atau ditetapkan. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah menggunakan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*, dengan variasi isi kotak pendingin yaitu 0 ml, 3000 ml, 6000 ml dan 9000 ml air.

### 3.3 prosedur penelitian

#### 3.3.1 Tahap persiapan

Langkah-langkah persiapan adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan kulkas mini yang sudah ada di laboratorium.



Gambar 3.1 Dimensi kotak pendingin

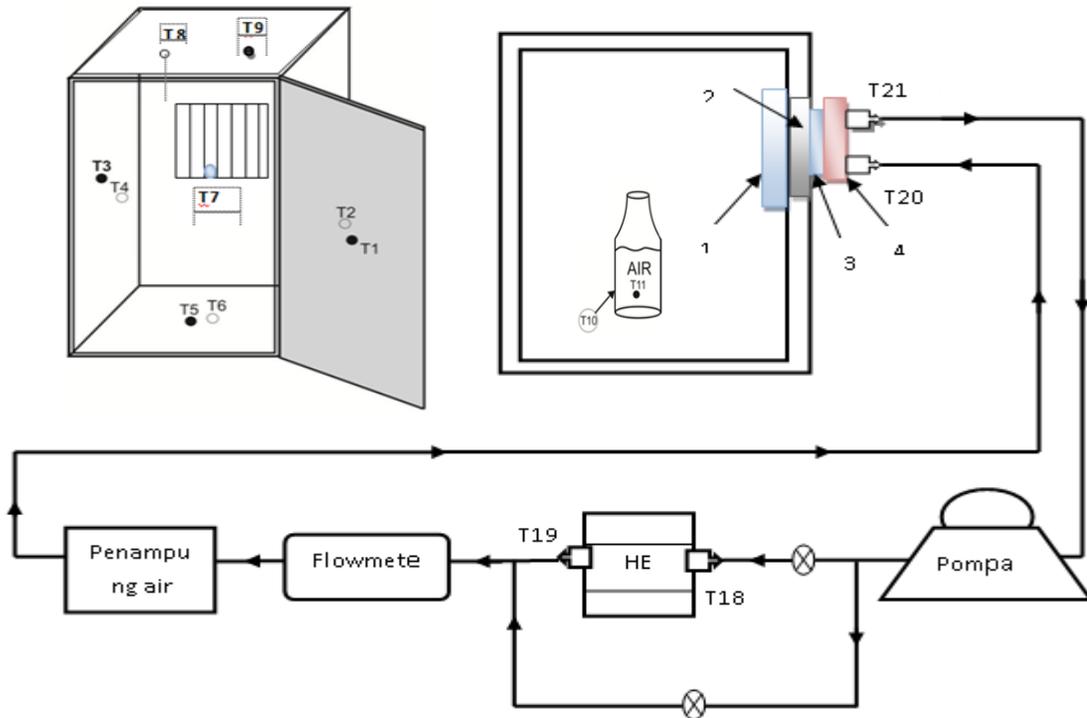
Tabel 3.1 Tebal kotak pendingin dan bahan yang digunakan

| Dinding          | Tebel dinding (m)     |           |         |           |              |
|------------------|-----------------------|-----------|---------|-----------|--------------|
|                  | Plat setainlees steel | Styrofoam | Plastik | Hardboard | Polyurethane |
| Dinding kiri     | 0,0006                | 0,0484    | 0,001   |           |              |
| Dinding kanan    | 0,0006                | 0,0484    | 0,001   |           |              |
| Dinding atas     | 0,0006                | 0,0484    | 0,001   |           |              |
| Dinding bawah    | 0,0006                | 0,0484    | 0,001   |           |              |
| Dinding belakang | 0,0006                | 0,0484    | 0,001   |           |              |
| Pintu            |                       |           | 0,001   | 0,02      | 0,0195       |

Tabel 3.2 Konduktivitas bahan yang digunakan (W/m.C )

| Bahan                | K (W/m.C) |
|----------------------|-----------|
| Plat Stainless steel | 15        |
| Styrofom             | 0,033     |
| Plastik              | 0,15      |
| Hardboard            | 0,11      |
| Polyurethane         | 0,025     |

2. Memasang *heat sink* di dalam ruang pendingin dengan dihubungkan dengan block alumunium, termoelektrik dan *mini pin fin*, serta memasang titik termokopel.



Gambar 3.2 Skema pemasangan komponen alat pendingin dan titik termokopel : (1) *Heat sink* , (2) blok alumunium, (3) termoelektrik, (4) *mini pin fin*.

Keterangan :

- T<sub>1</sub> = Suhu dinding depan luar
- T<sub>2</sub> = Suhu sisi dingin peltier.
- T<sub>3</sub> = Suhu dinding kanan luar.
- T<sub>4</sub> = Suhu dinding kanan dalam.
- T<sub>5</sub> = Suhu dinding bawah dalam.
- T<sub>6</sub> = Suhu dinding bawah luar.
- T<sub>7</sub> = Suhu *heat sink* dalam.
- T<sub>8</sub> = Suhu dinding atas dalam.
- T<sub>9</sub> = Suhu dinding atas luar.
- T<sub>10</sub> = Suhu dinding botol.
- T<sub>11</sub> = Suhu air.

$T_{12}$  = Suhu udara ruang kotak pendingin.

$T_{13}$  = Suhu dinding belakang luar

$T_{14}$  = Suhu dinding belakang dalam

$T_{15}$  = Suhu dinding depan dalam

$T_{16}$  = Suhu sisi panas peltier

$T_{17}$  = Suhu lingkungan

$T_{18}$  = suhu masuk *heat exchanger*

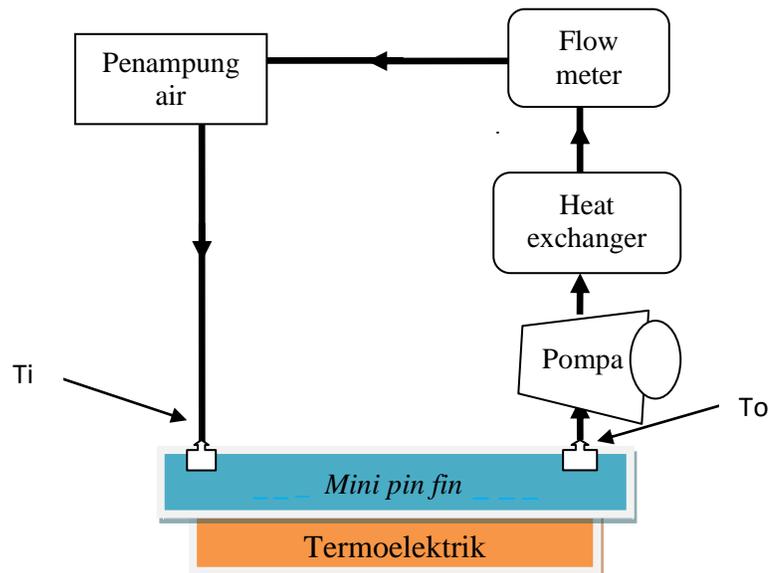
$T_{19}$  = Suhu keluar *heat exchanger*

$T_{20}$  = Suhu masuk *mini pin fin*

$T_{21}$  = Suhu keluar *mini pin fin*

Berdasarkan gambar 3.2 bahwa dengan dihubungkannya *heat sink* dalam, blok aluminium dan Peltier maka kalor akan diserap dari ruang kotak pendingin ke sisi panas termoelektrik, sedangkan pada sisi panas termoelektrik dihubungkan dengan *mini pin fin* Dimana *mini pin fin* berfungsi untuk menyerap panas pada sisi panas termoelektrik.

### 3. *Mini pin fin* sebagai unit pembuang panas.



Gambar 3.3 Skema *mini pin fin*

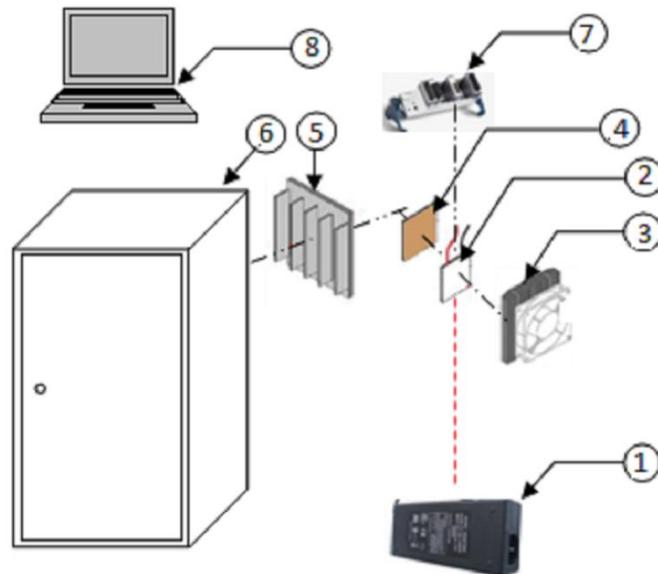
Pada gambar 3.3 air di dalam *mini pin fin* akan menyerap panas pada peltier dan di hisap keluar oleh pompa dimana suhu air yang keluar lebih tinggi dari sebelumnya. Setelah itu air akan mengalir menuju ke *heat exchanger*, dimana *heat exchanger* berfungsi untuk mendinginkan air panas dari pilter yang dihisap oleh pompa kemudian di dinginkan kembali oleh *heat exchanger*. Dari *heat exchanger* air akan kembali ke penampungan dan akan masuk kembali ke *mini pin fin*. Dimana proses ini akan bersikulasi secara berulang – ulang.

### 3.3.2 Pengujian

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Cek program labview dan alat pengujian, hidupkan serta cek semua monitoring suhu apakah ada error atau tidak.
2. Pengujian dengan *heat excahanger* tanpa beban 0 ml, 3000 ml 6000 ml dan 9000 ml kemudian pintu kotak pendingin ditutup.
3. Kemudian tombol pencatat ditekan supaya program labview mencatat semua data yang diperlukan.
4. Biyarkan program labview berjalan dan mencatat data, dan data yang lain dicatat setiap 1 jam penelitian yang berlangsung selama 3 jam.
5. Stop percoban.
6. Ulangi perosedur 1-5 untuk beban air yan berbeda.

### 3.3.3 Instalasi pengujian direncanakan seperti skema pada gambar



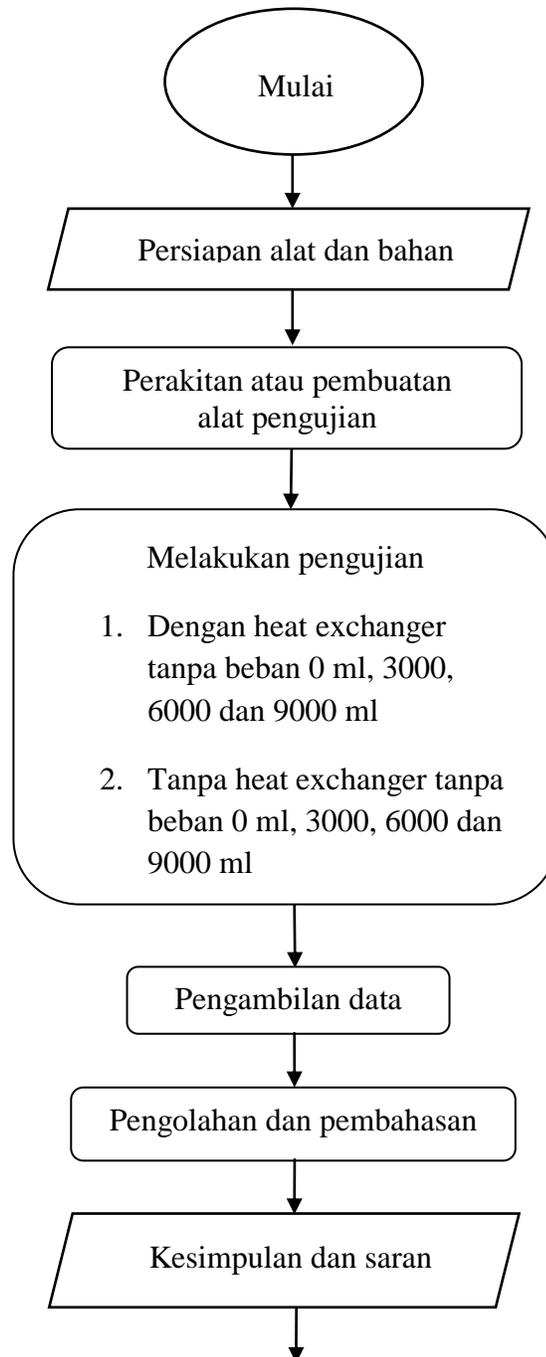
Gambar 3.4 Skema instalasi penelitian.

- *Power input*
- *Thermocouple input*
- *USB input*

Keterangan gambar skema pengujian :

1. Adaptor
2. Termoelektrik
3. *Mini pin fin*
4. Aluminium block
5. *Heat sink*
6. Kotak pendingin
7. Data logger DAQ

### 3.4 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Penelitian**

Setelah melakukan penelitian maka terkumpulkan data-data hasil penelitian yang kemudian di analisis untuk mengetahui pengaruh penggunaan *heat exchanger* dan tanpa *heta axchanger* terhadap jumlah kalor yang dilepas air, kalor udara, botol plastik di dalam ruang kotak pendingin, dan kalor konduksi dari lingkungan ke dalam ruang pendingin.

Berikut contoh perhitungan beban pendingin dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* dengan beban dan tanpa beban 0 ml, 3000 ml 6000 ml dan 9000 ml air.

#### **4.2 Perhitungan beban pendingin dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger***

Besarnya beban pendinginan pada kotak pendingin termoelektrik ini berasal dari konduksi antara dinding dalam dan dinding luar kotak pendingin, beban air, botol plastik dan udara di dalam kotak pendingin.

##### **4.2.1 Tanpa Beban 0 ml**

###### **A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin**

Parameter-parameter yang menentukan besaran beban kalor udara ialah volume ruangan, temperatur ruang kotak pendingin, dan temperatur awal udara. Maka kalor udara pada ruang kotak pendingin dapat dicari dengan mengacu pada persamaan (2-4).

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} V_R &= P_{in} \times L_{in} \times T_{in} \\ &= 0,317 \text{ m} \times 0,235 \text{ m} \times 0,447 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 0,033 \text{ m}^3$$

$$V_R = V_U = 0,033 \text{ m}^3$$

$$T_{u(i)} = \frac{T_{12(i-1)} + T_{12(i)}}{2}$$

$$T_{u(i)} = \frac{T_{12(0)} + T_{12(1)}}{2}$$

$$= \frac{27,64^\circ\text{C} + 17,88^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 22,76^\circ\text{C} + 273$$

$$= 295,76 \text{ K}$$

Berdasarkan  $T_u = 295,76 \text{ K}$  maka  $\rho_u$  dan  $C_{pu}$  diperoleh dari tabel sifat-sifat udara dengan cara interpolasi.

$$\rho_{u(1)} = 1,1974 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{pu(1)} = 1,0057 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

Maka massa udara adalah:

$$m_{u(1)} = V_u \times \rho_{u(1)}$$

$$= 0,033 \text{ m}^3 \times 1,1974 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,040 \text{ kg}$$

Maka energi udara saat 0 s/d 3600 s :

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

$$E_u = m_{u(1)} C_{pu(1)} T_{12(0)} - T_{12(1)}$$

$$= 0,040 \text{ kg} \times 1005,7 \text{ J/kg } ^\circ\text{C} \times (27,64 - 17,88) ^\circ\text{C}$$

$$= 391,429 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor udara dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_u = \frac{\sum_1^n E_{u(i)}}{t}$$

$$Q_u = \frac{391,429}{3600}$$

$$= 0,109 \text{ W}$$

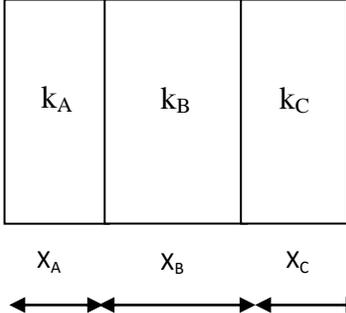
Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_u$  didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Hasil perhitungan energi udara

| Waktu (s) | T12 (°C) | Tu rata (°C) | Tu rata (K) | Vu (m³) | pu (kg/m³) | Cp (kJ/kg.°C) | mu (kg) | Eu (J)  | Qu (W) |
|-----------|----------|--------------|-------------|---------|------------|---------------|---------|---------|--------|
| 0         | 27,64    | 27,64        | 300,64      | 0,033   | 1,1751     | 1,0057        | 0,039   | 0       | 0      |
| 3600      | 17,88    | 22,76        | 295,76      | 0,033   | 1,1974     | 1,0057        | 0,040   | 391,429 | 0,109  |
| 7200      | 15,03    | 16,45        | 289,45      | 0,033   | 1,2271     | 1,0056        | 0,041   | 117,320 | 0,033  |
| 10800     | 14,43    | 14,73        | 287,73      | 0,033   | 1,2352     | 1,0056        | 0,041   | 24,547  | 0,007  |

## B. Beban kalor konduksi melalui dinding

Dinding sebelah kiri dan kanan terdiri dari tiga lapisan yaitu, plat stainless steel, styrafoam dan plastik. Persamaan perpindahan panas secara konduksi adalah:

$$E_{k(i)} = -kA \frac{(T_{wo} - T_{wi}) (t_{(i)} - t_{(i-1)})}{R}$$


The diagram shows a rectangular wall divided into three vertical sections. The first section on the left is labeled with thermal conductivity  $k_A$  and thickness  $x_A$ . The middle section is labeled with  $k_B$  and  $x_B$ . The third section on the right is labeled with  $k_C$  and  $x_C$ . Below the wall, three double-headed arrows indicate the thicknesses  $x_A$ ,  $x_B$ , and  $x_C$  for each layer.

Gambar 4.1 perpindahan panas konduksi yang terdiri dari tiga lapis

Diketahui berdasarkan tebal (x) dan nilai konduktivitas (k) bahan adalah sebagai berikut

Tabel 4.2 tebal bahan dan nilai konduktivitas bahan

|   |  |
|---|--|
| Plat stainless steel ( $x_A$ ) = 0,0006 m | $K_A = 15 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$    |
| Steyrafoam ( $x_B$ ) = 0,0484 m           | $K_B = 0,033 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ |
| Plastik ( $x_C$ ) = 0,001 m               | $K_C = 0,15 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  |
| Hardboard ( $x_D$ ) = 0,02 m              | $K_D = 0,11 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  |
| Polyurethane ( $x_E$ ) = 0,0195 m         | $K_E = 0,025 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ |

Dinding kiri = dinding kanan

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$A_{L/R} = T_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,105 \text{ m}^2$$

$$E_{k1(1)} = A_{L/R} \frac{2 \times (T_{3(1)} - T_{4(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}}$$

$$= \frac{2 \times 0,105 \text{ m}^2 \times (27,49^\circ\text{C} - 25,92^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$= 807,367 \text{ Joule}$$

Dinding atas = dinding bawah

Dinding atas dan bawah juga memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengan dinding kiri dan dinding kanan yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel, styrofoam dan plastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$A_{a/b} = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,074 \text{ m}^2$$

$$E_{k2(1)} = A_{a/b} \frac{2 \times (T_{9(1)} - T_{8(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}}$$

$$= \frac{2 \times 0,074 \text{ m}^2 \times (22,54^\circ\text{C} - 27,87^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$= 1940,796 \text{ Joule}$$

Dinding depan

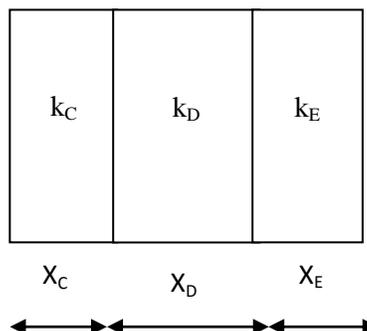
Dinding depan kotak pendingin terdiri dari tiga lapisan yaitu plastik, hardboard, dan polyurethane. Bahan yang dipakai berbeda dengan dinding kanan, kiri, bawah, atas dan belakang.

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$



$$A_d = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,142 \text{ m}^2$$

$$E_{k3(1)} = A_d \frac{(T_{1(1)} - T_{15(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_C}{k_C A} + \frac{\Delta x_D}{k_D A} + \frac{\Delta x_E}{k_E A}}$$

$$= \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (29,76^\circ\text{C} - 25,54^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,001\text{m}}{0,15\text{W/m}^2\text{C}} + \frac{0,02\text{m}}{0,11\text{W/m}^2\text{C}} + \frac{0,0195\text{m}}{0,025\text{W/m}^2\text{C}}}$$

$$= 4448,040 \text{ Joule}$$

Dinding belakang

Dinding belakang memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengan dinding kiri dan dinding kanan ataupun dinding atas dan bawah yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel, stayrofoam dan plastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$A_b = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,142 \text{ m}^2$$

$$E_{k4(1)} = A_b \frac{(T_{13(1)} - T_{14(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}}$$

$$= \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (29,45^\circ\text{C} - 21,16^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006\text{m}}{15\text{W/m}^2\text{C}} + \frac{0,0484\text{m}}{0,022\text{W/m}^2\text{C}} + \frac{0,001\text{m}}{0,15\text{W/m}^2\text{C}}}$$

$$= 5742,533 \text{ Joule}$$

Maka untuk menghitung laju aliran kalor konduksi 0 s/d 3600 adalah :

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{\sum^n E_{k(i)}}{t}$$

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{807,367}{3600}$$

$$= 0,224 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan untuk beban kalor konduksi dan laju aliran konduksi didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.3 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi

| Waktu (s) | Ek1 (J)  | Qk1 (W) | Ek2 (J)  | Qk2 (W) | Ek3 (J)  | Qk3 (W) | Ek4 (J)  | Qk4 (W) | Qttotal (J) |
|-----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|-------------|
| 0         | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0           |
| 3600      | 807,367  | 0,224   | 1940,796 | 0,539   | 4448,040 | 1,236   | 5742,533 | 1,595   | 3,594       |
| 7200      | 1830,559 | 0,508   | 2741,680 | 0,762   | 3585,037 | 0,996   | 7814,429 | 2,171   | 4,437       |
| 10800     | 2495,087 | 0,693   | 3464,899 | 0,962   | 6069,395 | 1,686   | 5678,272 | 1,577   | 4,919       |

### C. Perhitungan Daya

Daya adalah voltase dikalikan dengan arus, sedangkan untuk daya sistem adalah penjumlahan daya dari beberapa komponen alat yang bekerja untuk sistem (daya Peltier + daya pompa + daya heat exchanger). Sehingga untuk menghitung daya berdasarkan voltase dan arus yang telah diperoleh dari multimeter adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil perhitungan daya

| waktu (s) | Pompa       |          |                         | Termoelektrik |          |              | HEAT EXCHANGER |          |                      | Daya sistem (W) |
|-----------|-------------|----------|-------------------------|---------------|----------|--------------|----------------|----------|----------------------|-----------------|
|           | Tegangan(V) | Arus (A) | Daya pompa <sup>2</sup> | Tegangan(V)   | Arus (A) | Daya peltier | Tegangan(V)    | Arus (A) | Daya HE <sup>2</sup> |                 |
| 0         | 0           | 0        | 0                       | 0             | 0        | 0            | 0              | 0        | 0                    | 0               |
| 3600      | 10,5        | 0,31     | 3,26                    | 10,4          | 5,20     | 54,08        | 11,0           | 0,48     | 5,28                 | 62,62           |
| 7200      | 10,8        | 0,42     | 4,54                    | 10,2          | 5,12     | 52,22        | 11,0           | 0,34     | 3,74                 | 60,50           |
| 10800     | 10,7        | 0,35     | 3,75                    | 10,1          | 5,12     | 51,71        | 11,0           | 0,33     | 3,63                 | 59,09           |
| Rata-rata |             |          |                         |               |          | 52,672       |                |          |                      | 60,734          |

### D. Perhitungan COP

COP dalah perbandingan beban kalor pendingin yang diserap dengan daya yang masuk.

#### 1. COP Peltier (COP<sub>P</sub>)

Nilai COP<sub>P</sub> (COP Peltier) adalah perbandingan jumlah panas yang diserap dengan daya yang diberikan ke Peltier maka nilai COP<sub>P</sub> disajikan dalam persamaan sebagai berikut

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{P_p}$$

$$\begin{aligned} Q_C &= Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} + Q_{k4} + Q_u \\ &= Q_{k\text{total}} + Q_u \\ &= 3,594 + 0,109 \\ &= 3,703 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga untuk 0 s/d 3600 s (jam 09,00 – 10,00 WITA) pada hari pertama yaitu :

$$\begin{aligned} \text{COP}_p &= \frac{Q_c}{P_p} \\ &= \frac{3,703 \text{ W}}{54,08 \text{ W}} \\ &= 0,068 \end{aligned}$$

## 2. COP Sistem (COPs)

Nilai COPs (COP sistem) adalah perbandingan panas yang diserap dengan jumlah daya yang digunakan oleh semua alat pada sistem, maka nilai COPs disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COP}_s &= \frac{Q_c}{P_s} \\ &= \frac{3,703 \text{ W}}{62,62 \text{ W}} \\ &= 0,059 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan  $Q_c$ ,  $\text{COP}_p$  dan  $\text{COP}_s$  rata-rata dalam satu jam didapatkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.5 Hasil perhitungan  $Q_c$ ,  $\text{COP}_p$  dan  $\text{COP}_s$

| Waktu (s) | $Q_{k\text{total}}$ (W) | $Q_u$ (W) | $Q_c$ (W) | $\text{COP}_p$ | $\text{COP}_s$ |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| 0         | 0                       | 0         | 0         | 0              | 0              |
| 3600      | 3,594                   | 0,109     | 3,703     | 0,068          | 0,059          |
| 7200      | 4,437                   | 0,033     | 4,469     | 0,086          | 0,074          |
| 10800     | 4,919                   | 0,007     | 4,926     | 0,095          | 0,083          |
| Rata-rata |                         |           | 4,366     |                |                |

### 3. COP Peltier hari ke-1 (COPp)

COP Peltier hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{Crata}$ ) dengan daya rata-rata Peltier pada hari ke-1,

$$COPp = \frac{Qc(rata)}{Pp(rata)}$$

Sehingga COP Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{4,366 W}{52,672 W} \\ &= 0,083 \end{aligned}$$

### 4. COP sistem hari ke-1 (COPs)

COP sistem hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{crata}$ ) dengan daya rata-rata sistem pada hari ke-1,

$$COPs = \frac{Qc(rata)}{Ps(rata)}$$

Sehingga COP Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{4,366 W}{60,734 W} \\ &= 0,072 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan diatas untuk perhitungan hari ke-2 dan hari ke-3 terlampir

## **E. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin***

*Mini pin fin* berfungsi untuk menyerap panas pada sisi panas Peltier dimana media pendinginnya ialah menggunakan air. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin* pada sisi panas Peltier adalah sebagai berikut:

$$Q_{in} = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})$$

Diketahui :

$$\dot{m} = 0,0178 \text{ kg/s}$$

$$T_{\text{rata-rata}} = \frac{T_{\text{in}} + T_{\text{out}}}{2}$$

$$T_{\text{rata-rata}} = \frac{32,58 \text{ }^{\circ}\text{C} + 33,80 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$= 33,19 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan  $T_{\text{rata}} = 33,19 \text{ }^{\circ}\text{C}$  maka dengan cara interpolasi diperoleh  $C_p = 4.174 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$

$$Q_{\dot{m}(1)} = 0,0178 \text{ kg/s} \times 4174 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} (33,80 \text{ }^{\circ}\text{C} - 32,58 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$= 90,54 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama maka diperoleh laju aliran kalor *mini pin finl* pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.6 Hasil perhitungan  $Q_{\dot{m}}$

| Waktu (s) | T <sub>in</sub> (°C) | T <sub>out</sub> (°C) | T <sub>rata</sub> (°C) | ṁ (kg/s) | C <sub>p</sub> (kJ/kg.°C) | Q̇m (W) |
|-----------|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------|---------------------------|---------|
| 0         | 28,03                | 27,89                 | 27,96                  | 0,0147    | 4,178                     | 0       |
| 3600      | 32,58                | 33,80                 | 33,19                  | 0,0178    | 4,174                     | 90,54   |
| 7200      | 33,00                | 34,48                 | 33,74                  | 0,0155    | 4,174                     | 95,70   |
| 10800     | 33,59                | 34,89                 | 34,24                  | 0,0155    | 4,174                     | 84,23   |

## 4.2.2 Dengan Beban

### 4.2.2.1 Beban 3000 ml

Besarnya beban pendingin pada kotak pendingin termoelektrik berasal dari konduksi antara dinding dalam dan luar kotak pendingin, beban kalor air, plastik, dan udara di dalam kotak pendingin.

➤ Hari ke-1

A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

Diketahui :

$$V_R = P_{in} \times L_{in} \times T_{in}$$

$$= 0,317 \text{ m} \times 0,235 \text{ m} \times 0,447 \text{ m}$$

$$= 0,033 \text{ m}^3$$

$$V_a = 3000 \text{ ml} = 0,003 \text{ m}^3$$

$$V_u = 0,033 \text{ m}^3 - 0,003 \text{ m}^3$$

$$= 0,030 \text{ m}^3$$

$$T_{U(i)} = \frac{T_{12(i-1)} + T_{12(i)}}{2}$$

$$T_{U(i)} = \frac{T_{12(0)} + T_{12(1)}}{2}$$

$$= \frac{24,40^{\circ}\text{C} + 21,83^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$= 23,13^{\circ}\text{C} + 273$$

$$= 296,13 \text{ K}$$

Berdasarkan  $T_u = 296,13 \text{ K}$  maka  $\rho_u$  dan  $C_{pu}$  diperoleh dari tabel sifat-sifat udara dengan cara interpolasi.

$$\rho_{u(1)} = 1,1956 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{pu(1)} = 1,0057 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$$

Maka massa udara adalah:

$$m_{u(1)} = V_u \times \rho_{u(1)}$$

$$= 0,030 \text{ m}^3 \times 1,1956 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,036 \text{ kg}$$

Maka energi udara saat 0 s/d 3600 s :

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

$$E_u = m_{u(1)} C_{pu(1)} T_{12(0)} - T_{12(1)}$$

$$= 0,036 \text{ kg} \times 1005,7 \text{ J/kg. } ^{\circ}\text{C} \times (24,40^{\circ}\text{C} - 21,86^{\circ}\text{C})$$

$$= 92,457 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor udara dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_u = \frac{\sum_1^n E_{u(i)}}{t}$$

$$Q_u = \frac{92,457}{3600}$$

$$= 0,026 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_u$  didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.7 Hasil perhitungan energi udara

| Waktu (s) | T12 (°C) | Tu rata (°C) | Tu rata (K) | Vu (m <sup>3</sup> ) | ρu (kg/m <sup>3</sup> ) | Cp (kJ/kg.°C) | ṁu (kg) | Eu (J) | Qu (W) |
|-----------|----------|--------------|-------------|----------------------|-------------------------|---------------|---------|--------|--------|
| 0         | 24,40    | 24,40        | 297,40      | 0,030                | 1,1896                  | 1,0057        | 0,036   | 0      | 0      |
| 3600      | 21,86    | 23,13        | 296,13      | 0,030                | 1,1956                  | 1,0057        | 0,036   | 92,457 | 0,026  |
| 7200      | 20,64    | 21,25        | 294,25      | 0,030                | 1,2045                  | 1,0057        | 0,036   | 44,840 | 0,012  |
| 10800     | 19,76    | 20,20        | 293,20      | 0,030                | 1,2094                  | 1,0056        | 0,037   | 32,578 | 0,009  |

B. Beban kalor air dalam ruang pendingin

$$E_{a(i)} = m_{a(i)} C_{pa(i)} \Delta T_{a(i)}$$

Diketahui :

$$V_a = 3000 \text{ ml} = 0,003 \text{ m}^3$$

$$T_{a(i)} = \frac{T_{11(i-1)} + T_{11(i)}}{2}$$

$$T_{a(1)} = \frac{T_{11(0)} + T_{11(1)}}{2}$$

$$= \frac{24,04 \text{ °C} + 25,24 \text{ °C}}{2}$$

$$= 24,64 \text{ °C} = 297,641 \text{ K}$$

Berdasarkan  $T_a = 24,64 \text{ °C}$  maka  $C_{pa}$  diperoleh dari tabel sifat-sifat air dengan cara interpolasi.

$$C_{pa(1)} = 4,179 \text{ kJ/kg °C}$$

Maka massa air adalah:

$$m_p = 0,023 \times 2 = 0,046 \text{ kg}$$

$$m_a = 1523 \text{ kg} \times 2 = 3046 \text{ gr}$$

$$m_{a \text{ bersih}} = (m_a + m_p) - m_p \text{ (ditimbang langsung)}$$

$$= 3,046 \text{ kg} - 0,046$$

$$= 3 \text{ kg} = 3000 \text{ ml}$$

Maka energi air saat 0 s/d 3600 s :

$$E_{a(i)} = m_{a(i)} C_{pa(i)} \Delta T_{a(i)}$$

$$E_a = m_{a(1)} C_{pa(1)} T_{12(0)} - T_{12(1)}$$

$$= 3 \text{ kg} \times 4179 \text{ J/kg °C} \times (25,24 \text{ °C} - 24,04 \text{ °C})$$

$$= 14960,284 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor air dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_a = \frac{\sum_1^n E_{a(i)}}{t}$$

$$Q_a = \frac{14960,284}{3600}$$

$$= 4,156 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_a$  didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.8 Hasil perhitungan energi air

| Waktu (s) | T11 (°C) | Ta rata (K) | Va (m³) | ρa (kg/m³) | Cpa (kJ/kg.°C) | ma (kg) | Ea (J)    | Qa (W) |
|-----------|----------|-------------|---------|------------|----------------|---------|-----------|--------|
| 0         | 24,04    | 297,042     | 0,003   | 996,557    | 4,179          | 3,0     | 0         | 0      |
| 3600      | 25,24    | 297,641     | 0,003   | 996,384    | 4,179          | 3,0     | 14960,284 | 4,156  |
| 7200      | 24,18    | 297,711     | 0,003   | 996,355    | 4,179          | 3,0     | 13211,444 | 3,670  |
| 10800     | 23,79    | 296,987     | 0,003   | 996,571    | 4,179          | 3,0     | 4871,741  | 1,353  |

C. Beban kalor botol plastik.

$$E_{p(i)} = (m_{p(i)} C_{pp(i)} \Delta T_{p(i)})$$

Diketahui :

$C_p$  diperoleh dari tabel = 1250 J/kg.°C, plastik yang digunakan *polyethylene terephthalate*.

$$m_p = 0,023 \text{ kg} \times 2 \text{ (langsung ditimbang)}$$

$$= 0,046 \text{ kg}$$

Maka beban kalor atau energi plastik saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$E_{p(i)} = (m_{p(i)} C_{pp(i)} \Delta T_{p(i)})$$

$$= 0,046 \text{ kg} \times 1250 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} \times (25,19^\circ\text{C} - 24,37^\circ\text{C})$$

$$= 53,149 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor plastik dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_p = \frac{\sum_1^n E_{p(i)}}{t}$$

$$Q_p = \frac{53,149}{3600}$$

$$= 0,015 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_p$  didapatkan pada tabel dibawah ini

Tabel 4.9 Hasil perhitungan  $E_p$

| Waktu (s) | T10 (°C) | mp (kg) | Cp (J/kg.°C) | Ep (J) | Qp (W) |
|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------|
| 0         | 24,37    | 0,046   | 1250         | 0      | 0      |
| 3600      | 25,19    | 0,046   | 1250         | 53,149 | 0,015  |
| 7200      | 24,13    | 0,046   | 1250         | 68,529 | 0,019  |
| 10800     | 22,81    | 0,046   | 1250         | 86,208 | 0,024  |

#### D. Beban kalor konduksi melalui dinding

Dinding kiri = dinding kanan

Dinding kiri dan kanan terdiri dari tiga lapisan yaitu, plat stainless steel, styrofoam dan plastik.

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$A_{L/R} = T_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}} \\ = 0,105 \text{ m}^2$$

$$E_{k1(1)} = A_{L/R} \frac{2 \times (T_{3(1)} - T_{4(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \\ = \frac{2 \times 0,105 \text{ m}^2 \times (28,42^\circ\text{C} - 24,00^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^2\text{C}}} \\ = 2269,636 \text{ Joule}$$

Dinding atas = dinding bawah

Dinding atas dan bawah juga memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengandinding kiri dan dinding kanan yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel,stayrofoam danplastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_{a/b} &= P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}} \\ &= 0,074 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{k2(1)} &= A_{a/b} \frac{2 \times (T_{g(1)} - T_{s(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \\ &= \frac{2 \times 0,074 \text{ m}^2 \times (28,05^\circ\text{C} - 22,78^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}} \\ &= 1920,562 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dinding depan

Dinding depan kotak pendingin terdiri dari tiga lapisan yaitu plastik, hardboard, dan polyurethane.

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_d &= P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}} \\ &= 0,142 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{k3(1)} &= A_d \frac{(T_{1(1)} - T_{15(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_C}{k_C A} + \frac{\Delta x_D}{k_D A} + \frac{\Delta x_E}{k_E A}} \\ &= \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (27,58^\circ\text{C} - 23,10^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,11 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0195 \text{ m}}{0,025 \text{ W/m}^\circ\text{C}}} \\ &= 4717,797 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dinding belakang

Dinding belakang memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengan dinding kiri dan dinding kanan ataupun dinding atas dan bawah yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel, stayrofoam dan plastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$A_b = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}} \\ = 0,142 \text{ m}^2$$

$$E_{k4(1)} = A_b \frac{(T_{13(1)} - T_{14(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \\ = \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (27,55^\circ\text{C} - 21,52^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}} \\ = 4173,983 \text{ Joule}$$

Maka untuk menghitung laju aliran kalor konduksi saat 0 s/d 3600 adalah :

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{\sum_1^n E_{k(i)}}{t} \\ Q_{\text{konduksi}} = \frac{2269,636}{3600} \\ = 0,630 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan untuk beban kalor konduksi dan laju aliran konduksi didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.10 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi

| Waktu (s) | Ek1 (J)  | Qk1 (W) | Ek2 (J)  | Qk2 (W) | Ek3 (J)  | Qk3 (W) | Ek4 (J)  | Qk4 (W) | Qtotal (J) |
|-----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|------------|
| 0         | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0          |
| 3600      | 2269,636 | 0,630   | 1920,562 | 0,533   | 4717,797 | 1,310   | 4173,983 | 1,159   | 3,634      |
| 7200      | 3205,774 | 0,890   | 2433,332 | 0,676   | 6060,977 | 1,684   | 5207,879 | 1,447   | 4,697      |
| 10800     | 3833,830 | 1,065   | 2735,402 | 0,760   | 7109,418 | 1,975   | 5994,385 | 1,665   | 5,465      |

## E. Perhitungan Daya

Daya adalah voltase dikalikan dengan arus, sedangkan untuk daya sistem adalah penjumlahan daya dari beberapa komponen alat yang bekerja untuk sistem (daya Peltier + daya pompa + daya heat exchanger). Sehingga untuk menghitung daya berdasarkan voltase dan arus yang telah diperoleh dari multimeter adalah sebagai berikut

Tabel 4.11 Hasil perhitungan daya

| waktu (s) | Pompa        |          |            | Termoelektrik |          |              | Heat Exchanger |          |         | Daya sistem (W) |
|-----------|--------------|----------|------------|---------------|----------|--------------|----------------|----------|---------|-----------------|
|           | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya pompa | Tegangan (V)  | Arus (A) | Daya piliter | Tegangan(V)    | Arus (A) | Daya HE |                 |
| 0         | 0            | 0        | 0          | 0             | 0        | 0            | 0              | 0        | 0       | 0               |
| 3600      | 11,0         | 0,47     | 5,17       | 11            | 5,49     | 60,39        | 11,0           | 0,51     | 5,61    | 71,17           |
| 7200      | 10,6         | 0,43     | 4,558      | 11            | 5,78     | 63,58        | 11             | 0,48     | 5,28    | 73,42           |
| 10800     | 11,1         | 0,51     | 5,66       | 11            | 5,5      | 60,50        | 11             | 0,46     | 5,06    | 71,22           |
| Rata-rata |              |          |            |               |          | 61,490       |                |          |         | 71,936          |

## F. Perhitungan COP

COP dalah perbandingan beban kalor pendingin yang diserap engan daya yang masuk.

### 1. COP Peltier (COP<sub>P</sub>)

Nilai COP<sub>P</sub> (COP Peltier) adalah perbandingan beban kalor pendingin dengan daya Peltier yang masuk, maka nilai COP<sub>P</sub> disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$COP = \frac{Q_c}{P_p}$$

$$\begin{aligned} Q_C &= Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} + Q_{k4} + Q_u + Q_a + Q_p \\ &= Q_{ktotal} + Q_u + Q_a + Q_p \\ &= 3,6339 + 0,00257 + 4,1556 + 0,0148 \\ &= 7,8300 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga untuk 0 s/d 3600 s (jam 09,00 – 10,00 WITA) pada hari pertama yaitu :

$$\begin{aligned} COP_p &= \frac{Q_c}{P_p} \\ &= \frac{7,8300 \text{ W}}{60,39 \text{ W}} \\ &= 0,130 \end{aligned}$$

## 2. COP Sistem (COPs)

Nilai COPs (COP sistem) adalah perbandingan beban kalor pendingin dengan jumlah daya dari beberapa alat yang masuk, maka nilai COPs disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COP}_s &= \frac{Q_c}{P_s} \\ &= \frac{7,8300 \text{ W}}{71,17 \text{ W}} \\ &= 0,110 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan  $Q_c$ ,  $\text{COP}_p$  dan  $\text{COP}_s$  rata-rata dalam satu jam didapatkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.12 Hasil perhitungan  $Q_c$ ,  $\text{COP}_p$  dan  $\text{COP}_s$

| Waktu (s) | $Q_k(\text{total})$ (W) | $Q_u$ (W) | $Q_a$ (W) | $Q_p$ (W) | $Q_c$ (W) | $\text{COP}_p$ | $\text{COP}_s$ |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| 0         | 0                       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0              | 0              |
| 3600      | 3,6339                  | 0,0257    | 4,1556    | 0,0148    | 7,8300    | 0,130          | 0,110          |
| 7200      | 4,6967                  | 0,0125    | 3,6698    | 0,0190    | 8,3980    | 0,132          | 0,114          |
| 10800     | 5,4647                  | 0,0090    | 1,3533    | 0,0239    | 6,8510    | 0,113          | 0,096          |
| Rata-rata |                         |           |           |           | 7,6930    |                |                |

## 3. COP Peltier hari ke-1 ( $\text{COP}_p$ )

$\text{COP}$  Peltier hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{\text{Crata}}$ ) dengan daya rata-rata Peltier pada hari ke-1,

$$\text{COP}_p = \frac{Q_c(\text{rata})}{P_p(\text{rata})}$$

Sehingga  $\text{COP}$  Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{7,6930 \text{ W}}{61,490 \text{ W}} \\ &= 0,125 \end{aligned}$$

## 4. COP sistem hari ke-1 ( $\text{COP}_s$ )

$\text{COP}$  sistem hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{\text{Crata}}$ ) dengan daya rata-rata sistem pada hari ke-1,

$$\text{COP}_s = \frac{Q_c(\text{rata})}{P_s(\text{rata})}$$

Sehingga COP Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$= \frac{7,6930W}{71,936 W}$$

$$= 0,107$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan diatas untuk perhitungan hari ke-2 dan hari ke-3 terlampir.

### G. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin*

*Mini pin fin* berfungsi untuk menyerap panas pada sisi panas Peltier dimana media pendinginnya ialah menggunakan air. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin* pada sisi panas Peltier adalah sebagai berikut

$$Q_m = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})$$

Diketahui :

$$\dot{m} = 0,0119 \text{ Kg/s}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{30,49 \text{ }^\circ\text{C} + 31,90 \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 31,20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Berdasarkan  $T_{rata} = 31,20 \text{ }^\circ\text{C}$  maka dengan cara interpolasi diperoleh  $C_p = 4,175 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$

$$Q_{\square m(1)} = 0,0119 \text{ kg/s} \times 4175 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C} (31,90 \text{ }^\circ\text{C} - 30,49 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 70,23 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama maka diperoleh laju aliran kalor *mini pin fin* pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan  $Q_{\square m}$

| Waktu (s) | Tin (°C) | Tout (°C) | Trata (°C) | $\dot{m}$ (kg/s) | Cp (kJ/kg.°C) | Qm (W) |
|-----------|----------|-----------|------------|------------------|---------------|--------|
| 0         | 24,35    | 24,41     | 24,38      | 0,0148           | 4,179         | 0      |
| 3600      | 30,49    | 31,90     | 31,20      | 0,0119           | 4,175         | 70,23  |
| 7200      | 31,40    | 32,83     | 32,11      | 0,0117           | 4,174         | 69,94  |
| 10800     | 31,50    | 32,88     | 32,19      | 0,0120           | 4,174         | 69,17  |

#### 4.2.2.2 Beban 6000 ml

Besarnya beban pendingin pada kotak pendingin termoelektrik ini berasal dari konduksi antara dinding dalam dan luar kotak pendingin, beban kalor air, plastik, dan udara di dalam kotak pendingin.

➤ Hari ke-1

A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} V_R &= P_{in} \times L_{in} \times T_{in} \\ &= 0,317 \text{ m} \times 0,235 \text{ m} \times 0,447 \text{ m} \\ &= 0,033 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_a = 6000 \text{ ml} = 0,006 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} V_u &= 0,033 \text{ m}^3 - 0,006 \text{ m}^3 \\ &= 0,027 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$T_{u(i)} = \frac{T_{12(i-1)} + T_{12(i)}}{2}$$

$$\begin{aligned} T_{u(i)} &= \frac{T_{12(0)} + T_{12(1)}}{2} \\ &= \frac{23,49^\circ\text{C} + 26,87^\circ\text{C}}{2} \\ &= 25,18^\circ\text{C} + 273 \\ &= 298,18 \text{ K} \end{aligned}$$

Berdasarkan  $T_u = 298,18 \text{ K}$  maka  $\rho_u$  dan  $C_{pu}$  diperoleh dari tabel sifat-sifat udara dengan cara interpolasi.

$$\rho_{u(1)} = 1,1860 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{pu(1)} = 1,0057 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Maka massa udara adalah:

$$\begin{aligned} m_{u(1)} &= V_u \times \rho_{u(1)} \\ &= 0,027 \text{ m}^3 \times 1,1860 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,032 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka energi udara saat 0 s/d 3600 s :

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

$$E_u = m_{u(1)} C_{pu(1)} T_{12(0)} - T_{12(1)}$$

$$= 0,032 \text{ kg} \times 1005,7 \text{ J/kg } ^\circ\text{C} \times (26,87^\circ\text{C} - 23,49^\circ\text{C})$$

$$= 110,161 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor udara dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_u = \frac{\sum_1^n E_{u(i)}}{t}$$

$$Q_u = \frac{101,161}{3600}$$

$$= 0,031 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_u$  didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.14 Hasil perhitungan energi udara

| Waktu (s) | T12 (°C) | Tu rata (°C) | Tu rata (K) | Vu (m³) | ρu (kg/m³) | Cp (kJ/kg.°C) | mu (kg) | Eu (J)  | Qu (W) |
|-----------|----------|--------------|-------------|---------|------------|---------------|---------|---------|--------|
| 0         | 23,49    | 23,49        | 296,49      | 0,027   | 1,1939     | 1,0057        | 0,033   | 0       | 0      |
| 3600      | 26,87    | 25,18        | 298,18      | 0,027   | 1,1860     | 1,0057        | 0,032   | 110,161 | 0,031  |
| 7200      | 27,47    | 27,17        | 300,17      | 0,027   | 1,0057     | 1,0060        | 0,027   | 16,618  | 0,005  |
| 10800     | 26,24    | 26,85        | 299,85      | 0,027   | 1,1781     | 1,0057        | 0,032   | 39,928  | 0,011  |

## B. Beban kalor air dalam ruang pendingin

$$E_{a(i)} = m_{a(i)} C_{pa(i)} \Delta T_{a(i)}$$

Diketahui :

$$V_a = 6000 \text{ ml} = 0,006 \text{ m}^3$$

$$T_{a(i)} = \frac{T_{11(i-1)} + T_{11(i)}}{2}$$

$$T_{a(1)} = \frac{T_{11(0)} + T_{11(1)}}{2}$$

$$= \frac{23,33^\circ\text{C} + 28,46^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 25,89^{\circ}\text{C} = 298,90 \text{ K}$$

Berdasarkan  $T_a = 25,89^{\circ}\text{C}$  maka  $C_{pa}$  diperoleh dari tabel sifat-sifat air dengan cara interpolasi.

$$C_{p_{a(1)}} = 4,179 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$$

Maka massa air adalah:

$$m_p = 0,023 \text{ kg} \times 4 = 0,092 \text{ kg}$$

$$m_a = 1523 \times 4 = 6092 \text{ gr}$$

$$m_{a \text{ bersih}} = (m_a + m_p) - m_p \text{ (ditimbang langsung)}$$

$$= 6,092 \text{ kg} - 0,092 \text{ kg}$$

$$= 6 \text{ kg} = 6000 \text{ ml}$$

Maka energi air saat 0 s/d 3600 s :

$$E_{a(i)} = m_{a(i)} C_{pa(i)} \Delta T_{a(i)}$$

$$E_a = m_{a(1)} C_{pa(1)} T_{12(0)} - T_{12(1)}$$

$$= 6 \text{ kg} \times 4179 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C} \times (28,46^{\circ}\text{C} - 23,33^{\circ}\text{C})$$

$$= 128037,436 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor air dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_a = \frac{\sum_1^n E_{a(i)}}{t}$$

$$Q_a = \frac{128037,436}{3600}$$

$$= 35,566 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_a$  didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.15 Hasil perhitungan energi air

| Waktu (s) | T11 ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Ta rata (K) | Va ( $\text{m}^3$ ) | $\rho_a$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | CPA ( $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) | ma (kg) | Ea (J)     | Qa (W) |
|-----------|----------------------------|-------------|---------------------|-------------------------------------|--|---------|------------|--------|
| 0         | 23,33                      | 296,33      | 0,006               | 996,761                             | 4,179  | 6,0     | 0          | 0      |
| 3600      | 28,46                      | 298,90      | 0,006               | 996,022                             | 4,179  | 6,0     | 128037,436 | 35,566 |
| 7200      | 28,86                      | 301,66      | 0,006               | 995,477                             | 4,177  | 6,0     | 9879,483   | 2,744  |
| 10800     | 27,25                      | 301,05      | 0,006               | 995,576                             | 4,178  | 6,0     | 40117,433  | 11,144 |

C. Beban kalor botol plastik

$$E_{p(i)} = m_{p(i)} C_{pp(i)} \Delta T_{p(i)}$$

Diketahui :

Cp diperoleh dari tabel = 1250 J/kg.°C, plastik yang digunakan *polyethylene terephthalate*.

$$\begin{aligned} m_p &= 0,023 \text{ kg} \times 4 \text{ (langsung ditimbang)} \\ &= 0,092 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka beban kalor atau energi plastik saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$\begin{aligned} E_p &= m_{p(1)} C_{pp(1)} T_{10(0)} - T_{10(1)} \\ &= 0,092 \text{ kg} \times 1250 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} \times ( 28,06^\circ\text{C} - 23,17^\circ\text{C} ) \\ &= 635,569 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Sehingga laju aliran kalor plastik dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$\begin{aligned} Q_p &= \frac{\sum_1^n E_{p(i)}}{t} \\ Q_p &= \frac{635,569}{3600} \\ &= 0,177 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_p$  didapatkan pada tabel dibawah ini

Tabel 4.16 Hasil perhitungan EP

| Waktu (s) | T10 (°C) | mp (kg) | Cp (J/kg. °C) | Ep (J)  | Qp (W) |
|-----------|----------|---------|---------------|---------|--------|
| 0         | 23,17    | 0,092   | 1250          | 0       | 0      |
| 3600      | 28,06    | 0,092   | 1250          | 635,569 | 0,177  |
| 7200      | 28,65    | 0,092   | 1250          | 77,522  | 0,022  |
| 10800     | 27,07    | 0,092   | 1250          | 205,377 | 0,057  |

#### D. Beban kalor konduksi melalui dinding

Dinding kiri = dinding kanan

Dinding kiri dan kanan memiliki tiga lapisan yaitu, plat stainless steel, styrofoam dan plastik.

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_{L/R} &= T_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}} \\ &= 0,105 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{k1(1)} &= A_{L/R} \frac{2 \times (T_{3(1)} - T_{4(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \\ &= \frac{2 \times 0,105 \text{ m}^2 \times (31,26^\circ\text{C} - 29,16^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}} \\ &= 1081,467 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dinding atas = dinding bawah

Dinding atas dan bawah juga memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengan dinding kiri dan dinding kanan yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel, styrofoam dan plastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_{a/b} &= P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}} \\ &= 0,074 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{k2(1)} &= A_{a/b} \frac{2 \times (T_{9(1)} - T_{8(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \\ &= \frac{2 \times 0,074 \text{ m}^2 \times (30,74^\circ\text{C} - 27,02^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}} \\ &= 1351,921 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dinding depan

Dinding depan kotak pendingin terdiri dari tiga lapisan yaitu plastik, hardboard, dan polyurethane.

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$A_d = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,142 \text{ m}^2$$

$$E_{k3(1)} = A_d \frac{(T_{1(1)} - T_{15(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_C}{k_C A} + \frac{\Delta x_D}{k_D A} + \frac{\Delta x_E}{k_E A}}$$

$$= \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (34,92^\circ\text{C} - 31,54^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,11 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0195 \text{ m}}{0,025 \text{ W/m}^\circ\text{C}}}$$

$$= 3557,173 \text{ Joule}$$

Dinding belakang

Dinding belakang memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengan dinding kiri dan dinding kanan ataupun dinding atas dan bawah yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel, stayrofoam dan plastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$A_b = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,142 \text{ m}^2$$

$$E_{k4(1)} = A_b \frac{(T_{13(1)} - T_{14(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}}$$

$$= \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (31,23^\circ\text{C} - 25,54^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}}$$

$$= 3936,995 \text{ Joule}$$

Maka untuk menghitung laju aliran kalor konduksi saat 0 s/d 3600 adalah :

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{\sum_1^n E_{k(i)}}{t}$$

$$Q_{\text{konveksi}} = \frac{1081,467}{3600}$$

$$= 0,300 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan untuk beban kalor konduksi dan laju aliran konduksi didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.17 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi

| Waktu (s) | Ek1 (J)  | Qk1 (W) | Ek2 (J)  | Qk2 (W) | Ek3 (J)  | Qk3 (W) | Ek4 (J)  | Qk4 (W) | Qtotal (J) |
|-----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|------------|
| 0         | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0          |
| 3600      | 1081,467 | 0,300   | 1351,921 | 0,376   | 3557,173 | 0,988   | 3936,995 | 1,094   | 2,758      |
| 7200      | 1649,752 | 0,458   | 1653,612 | 0,459   | 4480,784 | 1,245   | 4802,169 | 1,334   | 3,496      |
| 10800     | 2213,893 | 0,615   | 1907,058 | 0,530   | 5834,145 | 1,621   | 5617,887 | 1,561   | 4,326      |

### E. Perhitungan Daya

Daya adalah voltase dikalikan dengan arus, sedangkan untuk daya sistem adalah penjumlahan daya dari beberapa komponen alat yang bekerja untuk sistem (daya Peltier + daya pompa + daya heat exchanger). Sehingga untuk menghitung daya berdasarkan voltase dan arus yang telah diperoleh dari multimeter adalah sebagai berikut

Tabel 4.18 Hasil perhitungan daya

| waktu (s) | Pompa        |          |            | Termoelektrik |          |             | Heat Exchanger |          |         | Daya sistem (W) |
|-----------|--------------|----------|------------|---------------|----------|-------------|----------------|----------|---------|-----------------|
|           | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya pompa | Tegangan (V)  | Arus (A) | Daya pilter | Tegangan(V)    | Arus (A) | Daya HE |                 |
| 0         | 0            | 0        | 0          | 0             | 0        | 0           | 0              | 0        | 0       | 0               |
| 3600      | 12,7         | 0,73     | 9,271      | 12,5          | 6,71     | 83,88       | 12,6           | 0,77     | 9,702   | 102,85          |
| 7200      | 12,2         | 0,65     | 7,93       | 12,3          | 6,67     | 82,04       | 12,4           | 0,75     | 9,3     | 99,27           |
| 10800     | 12,7         | 0,56     | 7,112      | 12,4          | 6,55     | 81,22       | 12,4           | 0,75     | 9,3     | 97,63           |
| Rata-rata |              |          |            |               |          | 82,379      |                |          |         | 99,917          |

### F. Perhitungan COP

COP dalah perbandingan beban kalor pendingin yang diserap engan daya yang masuk.

### 1. COP Peltier (COP<sub>P</sub>)

Nilai COP<sub>P</sub> (COP Peltier) adalah perbandingan beban kalor pendingin dengan daya Peltier yang masuk, maka nilai COP disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{Q_c}{P_p} \\ Q_c &= Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} + Q_{k4} + Q_u + Q_a + Q_p \\ &= Q_{k\text{total}} + Q_u + Q_a + Q_p \\ &= 2,7577 + 0,0306 + 35,5660 + 0,1765 \\ &= 38,5308 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga untuk 0 s/d 3600 s (jam 09,00 – 10,00 WITA) pada hari pertama yaitu :

$$\begin{aligned} \text{COP}_p &= \frac{Q_c}{P_p} \\ &= \frac{38,5308 \text{ W}}{83,875 \text{ W}} \\ &= 0,459 \end{aligned}$$

### 2. COP Sistem (COP<sub>s</sub>)

Nilai COP<sub>s</sub> (COP sistem) adalah perbandingan beban kalor pendingin dengan jumlah daya dari beberapa alat yang masuk, maka nilai COP<sub>s</sub> disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COP}_s &= \frac{Q_c}{P_s} \\ &= \frac{38,5308 \text{ W}}{102,848 \text{ W}} \\ &= 0,375 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan Q<sub>C</sub>, COP<sub>P</sub> dan COP<sub>s</sub> rata-rata dalam satu jam didapatkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.19 Hasil perhitungan Q<sub>C</sub>, COP<sub>P</sub> dan COP<sub>s</sub>

| Waktu (s) | Qk(total) (W) | Qu (W) | Qa (W) | Qp (W) | Qc (W)  | COP <sub>p</sub> | COP <sub>s</sub> |
|-----------|---------------|--------|--------|--------|---------|------------------|------------------|
| 0         | 0             | 0      | 0      | 0      | 0       | 0                | 0                |
| 3600      | 2,7577        | 0,031  | 35,566 | 0,177  | 38,531  | 0,459            | 0,375            |
| 7200      | 3,4962        | 0,005  | 2,744  | 0,022  | 6,267   | 0,076            | 0,063            |
| 10800     | 4,3258        | 0,011  | 11,144 | 0,057  | 15,538  | 0,191            | 0,159            |
| Rata-rata |               |        |        |        | 20,1117 |                  |                  |

### 3. COP Peltier hari ke-1 (COPp)

COP Peltier hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{Crata}$ ) dengan daya rata-rata Peltier pada hari ke-1,

$$COPp = \frac{Q_c(rata)}{P_p(rata)}$$

Sehingga COP Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{20,1117 \text{ W}}{82,379 \text{ W}} \\ &= 0,244 \end{aligned}$$

### 4. COP sistem hari ke-1 (COPs)

COP sistem hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{Crata}$ ) dengan daya rata-rata sistem pada hari ke-1,

$$COPs = \frac{Q_c(rata)}{P_s(rata)}$$

Sehingga COP Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{20,1117 \text{ W}}{99,917 \text{ W}} \\ &= 0,201 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan diatas untuk perhitungan hari ke-2 dan hari ke-3 terlampir.

## G. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin*

*Mini pin fin* berfungsi untuk menyerap panas pada sisi panas Peltier dimana media pendinginnya ialah menggunakan air. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin* pada sisi panas Peltier adalah sebagai berikut

$$Q_m = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})$$

Diketahui :

$$\dot{m} = 0,012 \text{ kg/s}$$

$$T_{\text{rata-rata}} = \frac{T_{\text{in}} + T_{\text{out}}}{2}$$

$$T_{\text{rata-rata}} = \frac{33,40 \text{ }^{\circ}\text{C} + 23,52 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$= 34,10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan  $T_{\text{rata}} = 34,10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  maka dengan cara interpolasi diperoleh  $C_p = 4,174 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

$$Q_{\dot{m}(1)} = 0,012 \text{ kg/s} \times 4174 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C} (33,40 \text{ }^{\circ}\text{C} - 23,52 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$= 69,63 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama maka diperoleh laju aliran kalor *mini pin finl* pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.20 Hasil perhitungan  $Q_{\dot{m}}$

| Waktu (s) | Tin (°C) | Tout (°C) | Trata(°C) | $\dot{m}$ (kg/s) | Cp (kJ/kg.°C) | Qm (W) |
|-----------|----------|-----------|-----------|------------------|---------------|--------|
| 0         | 23,52    | 23,61     | 23,57     | 0,0000           | 4,179         | 0      |
| 3600      | 33,40    | 34,81     | 34,10     | 0,0118           | 4,174         | 69,63  |
| 7200      | 35,56    | 36,84     | 36,20     | 0,0104           | 4,174         | 55,61  |
| 10800     | 33,48    | 34,82     | 34,15     | 0,0107           | 4,174         | 60,18  |

#### 4.2.2.3 Beban 9000 ml

Besarnya beban pendingin pada kotak pendingin termoelektrik ini berasal dari kondkusi antara dinding dalam dan luar kotak pendingin, beban kalor air, plastik, dan udara di dalam kotak pendingin.

➤ Hari ke-1

A. Beban kalor udara dalam ruang kotak pendingin

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

Diketahui :

$$V_R = P_{\text{in}} \times L_{\text{in}} \times T_{\text{in}}$$

$$= 0,317 \text{ m} \times 0,235 \text{ m} \times 0,447 \text{ m}$$

$$= 0,033 \text{ m}^3$$

$$V_a = 9000 \text{ ml} = 0,009 \text{ m}^3$$

$$V_u = 0,033 \text{ m}^3 - 0,009 \text{ m}^3$$

$$= 0,024 \text{ m}^3$$

$$T_{u(i)} = \frac{T_{12(i-1)} + T_{12(i)}}{2}$$

$$T_{u(i)} = \frac{T_{12(0)} + T_{12(1)}}{2}$$

$$= \frac{24,94 \text{ } ^\circ\text{C} + 30,30 \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 27,62 \text{ } ^\circ\text{C} + 273$$

$$= 300,62 \text{ K}$$

Berdasarkan  $T_u = 300,62 \text{ K}$  maka  $\rho_u$  dan  $C_{pu}$  diperoleh dari tabel sifat-sifat udara dengan cara interpolasi.

$$\rho_{u(1)} = 1,1752 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{pu(1)} = 1,0057 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Maka massa udara adalah:

$$m_{u(1)} = V_u \times \rho_{u(1)}$$

$$= 0,024 \text{ m}^3 \times 1,1752 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,0286 \text{ kg}$$

Maka energi udara saat 0 s/d 3600 s adalah :

$$E_{u(i)} = m_{u(i)} C_{pu(i)} \Delta T_{u(i)}$$

$$E_u = m_{u(1)} C_{pu(1)} T_{12(0)} - T_{12(1)}$$

$$= 0,0286 \text{ kg} \times 1005,7 \text{ J/kg } ^\circ\text{C} \times (30,30 \text{ } ^\circ\text{C} - 24,94 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 153,977 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor udara dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_u = \frac{\sum_1^n E_{u(i)}}{t}$$

$$Q_u = \frac{153,977}{3600}$$

$$= 0,0428 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_u$  didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 21 Hasil perhitungan energi udara

| Waktu (s) | T12 (°C) | Tu rata (°C) | Tu rata (K) | Vu(m³) | ρu (kg/m³) | Cp (KJ/Kg.°C) | mu (Kg) | Eu (J)  | Qu (W) |
|-----------|----------|--------------|-------------|--------|------------|---------------|---------|---------|--------|
| 0         | 24,94    | 24,94        | 297,94      | 0,024  | 1,1675     | 1,0057        | 0,0284  | 0       | 0      |
| 3600      | 30,30    | 27,62        | 300,62      | 0,024  | 1,1752     | 1,0057        | 0,0286  | 153,977 | 0,0428 |
| 7200      | 30,86    | 30,58        | 303,58      | 0,024  | 1,1646     | 1,0059        | 0,0283  | 15,688  | 0,0044 |
| 10800     | 30,29    | 30,57        | 303,57      | 0,024  | 1,1646     | 1,0059        | 0,0283  | 16,175  | 0,0045 |

## B. Beban kalor air dalam ruang pendingin

$$E_{a(i)} = m_{a(i)} C_{pa(i)} \Delta T_{a(i)}$$

Diketahui

$$V_a = 9000 \text{ ml} = 0,009 \text{ m}^3$$

$$T_{a(i)} = \frac{T_{11(i-1)} + T_{11(i)}}{2}$$

$$\begin{aligned} T_{a(1)} &= \frac{T_{11(0)} + T_{11(1)}}{2} \\ &= \frac{25,08 \text{ °C} + 30,13 \text{ °C}}{2} \\ &= 27,60 \text{ °C} = 300,606 \text{ K} \end{aligned}$$

Berdasarkan  $T_a = 27,60 \text{ °C}$  maka dan  $C_{pa}$  diperoleh dari tabel sifat-sifat air dengan cara interpolasi.

$$C_{pa(1)} = 4,178 \text{ kJ/kg °C}$$

Maka massa air adalah:

$$m_p = 0,023 \times 6 = 0,138 \text{ kg}$$

$$m_a = 1523 \text{ kg} \times 6 = 9138 \text{ gr}$$

$$m_{a \text{ bersih}} = (m_a + m_p) - m_p \text{ (ditimbang langsung)}$$

$$= 9,138 \text{ kg} - 0,138 \text{ kg}$$

$$= 9 \text{ kg} = 9000 \text{ ml}$$

Maka energi air saat 0 s/d 3600 s adalah :

$$E_{a(i)} = m_{a(i)} C_{pa(i)} \Delta T_{a(i)}$$

$$E_a = m_{a(1)} C_{pa(1)} T_{12(0)} - T_{12(1)}$$

$$= 9 \text{ kg} \times 4178 \text{ J/kg} \text{ }^\circ\text{C} \times (30,13 \text{ }^\circ\text{C} - 25,08 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 189019,065 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor air dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_a = \frac{\sum_1^n E_{a(i)}}{t}$$

$$Q_a = \frac{189019,065}{3600}$$

$$= 52,505 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan  $E_a$  didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.22 Hasil perhitungan energi air

| Waktu (s) | T11 (°C) | Ta rata (K) | Va (m³) | ρa (kg/m³) | CPa (kJ/kg.°C) | ma (kg) | Ea (J)     | Qa (W) |
|-----------|----------|-------------|---------|------------|----------------|---------|------------|--------|
| 0         | 25,08    | 298,082     | 0,009   | 996,258    | 4,179          | 9,0     | 0          | 0      |
| 3600      | 30,13    | 300,606     | 0,009   | 995,648    | 4,178          | 9,0     | 189019,065 | 52,505 |
| 7200      | 30,26    | 303,194     | 0,009   | 995,229    | 4,176          | 9,0     | 4718,222   | 1,311  |
| 10800     | 29,51    | 302,886     | 0,009   | 995,278    | 4,176          | 9,0     | 27753,358  | 7,709  |

### C. Beban kalor botol plastik

$$E_{p(i)} = m_{p(i)} C_{pp(i)} \Delta T_{p(i)}$$

Diketahui :

$C_p$  diperoleh dari tabel = 1250 J/kg.°C, plastik yang digunakan *polyethylene terephthalate*.

$$m_p = 0,023 \text{ kg} \times 6 \text{ (langsung ditimbang)}$$

$$= 0,138 \text{ kg}$$

Maka beban kalor atau energi plastik saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$E_p = m_p C_{pp} T_{10(0)} - T_{10(1)}$$

$$= 0,138 \text{ kg} \times 1250 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} \times (30,88 \text{ }^\circ\text{C} - 25,05 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 1138,098 \text{ Joule}$$

Sehingga laju aliran kalor plastik dalam kotak pendingin saat 0 s/d 3600 s adalah:

$$Q_p = \frac{\sum_1^n E_{p(i)}}{t}$$

$$Q_p = \frac{1138,098}{3600}$$

$$= 0,3161 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan Ep didapatkan pada tabel dibawah ini

Tabel 4.23 Hasil perhitungan Ep

| Waktu (s) | T10 (°C) | mp (kg) | Cp (J/kg.°C) | Ep (J)   | Qp (W) |
|-----------|----------|---------|--------------|----------|--------|
| 0         | 25,05    | 0,138   | 1250         | 0        | 0      |
| 3600      | 30,88    | 0,138   | 1250         | 1138,098 | 0,316  |
| 7200      | 31,19    | 0,138   | 1250         | 60,265   | 0,017  |
| 10800     | 30,52    | 0,138   | 1250         | 131,985  | 0,037  |

#### D. Beban kalor konduksi melalui dinding

Dinding kiri = dinding kanan

Dinding kiri dan dinding terdiri dari tiga lapisan yaitu, palat stainless steel, stayarofoam dan plastik.

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$A_{L/R} = T_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,105 \text{ m}^2$$

$$E_{k1(1)} = A_{L/R} \frac{2 \times (T_{2(1)} - T_{4(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}}$$

$$= \frac{2 \times 0,105 \text{ m}^2 \times (33,33^\circ\text{C} - 31,52^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}}$$

$$= 927,695 \text{ Joule}$$

Dinding atas = dinding bawah

Dinding atas dan bawah juga memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengan dinding kiri dan dinding kanan yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel, stayrofoam dan plastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$L_{\text{inner}} = 0,235 \text{ m}$$

$$A_{a/b} = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,074 \text{ m}^2$$

$$E_{k2(1)} = A_{a/b} \frac{2 \times (T_{\text{g}(1)} - T_{\text{g}(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}}$$

$$= \frac{2 \times 0,074 \text{ m}^2 \times (32,40^\circ\text{C} - 29,18^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}}$$

$$= 1170,440 \text{ Joule}$$

Dinding depan

Dinding depan kotak pendingin terdiri dari tiga lapisan yaitu plastik, hardboard, dan polyurethane.

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$A_d = P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}}$$

$$= 0,142 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
E_{k3(1)} &= A_d \frac{(T_{1(1)} - T_{15(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_C}{k_C A} + \frac{\Delta x_D}{k_D A} + \frac{\Delta x_E}{k_E A}} \\
&= \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (35,61^\circ\text{C} - 33,49^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,001 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,11 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0195 \text{ m}}{0,025 \text{ W/m}^\circ\text{C}}} \\
&= 2235,957 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

Dinding belakang

Dinding belakang memiliki spesifikasi (tebal dan bahan) yang sama dengan dinding kiri dan dinding kanan ataupun dinding atas dan bawah yaitu terdiri dari tiga lapisan (plat stainless steel, stayrofoam dan plastik).

Pada saat 0 s/d 3600 s

Diketahui :

$$P_{\text{inner}} = 0,317 \text{ m}$$

$$T_{\text{inner}} = 0,447 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
A_b &= P_{\text{inner}} \times L_{\text{inner}} \\
&= 0,142 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_{k4(1)} &= A_b \frac{(T_{13(1)} - T_{14(1)}) (t_{(1)} - t_{(0)})}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \\
&= \frac{0,142 \text{ m}^2 \times (32,81^\circ\text{C} - 26,26^\circ\text{C}) \times (3600 - 0)}{\frac{0,0006 \text{ m}}{15 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,0484 \text{ m}}{0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}}} \\
&= 4534,275 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

Maka untuk menghitung laju aliran kalor konduksi saat 0 s/d 3600 adalah :

$$\begin{aligned}
Q_{\text{konduksi}} &= \frac{\sum_1^n E_{k(i)}}{t} \\
Q_{\text{konveksi}} &= \frac{927,695}{3600} \\
&= 0,258 \text{ W}
\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan untuk beban kalor konduksi dan laju aliran konduksi didapatkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.24 Perhitungan energi konduksi dan laju aliran kalor konduksi

| Waktu (s) | Ek1 (J)  | Qk1 (W) | Ek2 (J)  | Qk2 (W) | Ek3 (J)  | Qk3 (W) | Ek4 (J)  | Qk4 (W) | Qtotal (J) |
|-----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|------------|
| 0         | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0       | 0          |
| 3600      | 927,695  | 0,258   | 1170,440 | 0,325   | 2235,957 | 0,621   | 4534,275 | 1,260   | 2,463      |
| 7200      | 1375,583 | 0,382   | 1404,176 | 0,390   | 3225,329 | 0,896   | 5276,760 | 1,466   | 3,134      |
| 10800     | 1844,898 | 0,512   | 1686,618 | 0,469   | 4484,397 | 1,246   | 5921,673 | 1,645   | 3,872      |

### E. Perhitungan Daya

Daya adalah voltase dikalikan dengan arus, sedangkan untuk daya sistem adalah penjumlahan daya dari beberapa komponen alat yang bekerja untuk sistem (daya Peltier + daya pompa + daya heat exchanger). Sehingga untuk menghitung daya berdasarkan voltase dan arus yang telah diperoleh dari multimeter adalah sebagai berikut

Tabel 4.25 Hasil perhitungan daya

| waktu (s) | Pompa        |          |            | Termoelektrik |          |             | Heat Exchanger |          |         | Daya sistem (W) |
|-----------|--------------|----------|------------|---------------|----------|-------------|----------------|----------|---------|-----------------|
|           | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya pompa | Tegangan (V)  | Arus (A) | Daya pilter | Tegangan(V)    | Arus (A) | Daya HE |                 |
| 0         | 0            | 0        | 0          | 0             | 0        | 0           | 0              | 0        | 0       | 0               |
| 3600      | 12,0         | 0,74     | 8,88       | 11,4          | 6,43     | 73,30       | 12,1           | 0,71     | 8,59    | 90,77           |
| 7200      | 12,0         | 0,88     | 10,56      | 11,4          | 6,39     | 72,85       | 12,1           | 0,58     | 7,02    | 90,42           |
| 10800     | 12,0         | 0,73     | 8,76       | 11,4          | 6,4      | 72,96       | 12,1           | 0,72     | 8,71    | 90,43           |
| Rata-rata |              |          |            |               |          | 73,036      |                |          |         | 90,543          |

### F. Perhitungan COP

COP dalah perbandingan beban kalor pendingin yang diserap engan daya yang masuk.

#### 1. COP Peltier (COP<sub>P</sub>)

Nilai COP<sub>P</sub> (COP Peltier) adalah perbandingan beban kalor pendingin dengan daya Peltier yang masuk, maka nilai COP<sub>P</sub> disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$COP = \frac{Q_c}{P_p}$$

$$\begin{aligned}
 Q_C &= Q_{k1} + Q_{k2} + Q_{k3} + Q_{k4} + Q_u + Q_a + Q_p \\
 &= Q_{ktotal} + Q_u + Q_a + Q_p \\
 &= 2,4634 + 0,0428 + 52,5053 + 0,3161
 \end{aligned}$$

$$= 55,3276 \text{ W}$$

Sehingga untuk 0 s/d 3600 s (jam 09,00 – 10,00 WITA) pada hari pertama yaitu :

$$\begin{aligned} \text{COP}_p &= \frac{Q_c}{P_p} \\ &= \frac{55,3276 \text{ W}}{73,30 \text{ W}} \\ &= 0,755 \end{aligned}$$

## 2. COP Sistem (COPs)

Nilai COPs (COP sistem) adalah perbandingan beban kalor pendingin dengan jumlah daya dari beberapa alat yang masuk, maka nilai COPs disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COP}_s &= \frac{Q_c}{P_s} \\ &= \frac{55,3276 \text{ W}}{90,77 \text{ W}} \\ &= 0,610 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan  $Q_c$ ,  $\text{COP}_p$  dan  $\text{COP}_s$  rata-rata dalam satu jam didapatkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.26 Hasil perhitungan  $Q_c$ ,  $\text{COP}_p$  dan  $\text{COP}_s$

| Waktu (s) | $Q_k(\text{total})$ (W) | $Q_u$ (W) | $Q_a$ (W) | $Q_p$ (W) | $Q_c$ (W) | $\text{COP}_p$ | $\text{COP}_s$ |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| 0         | 0                       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0              | 0              |
| 3600      | 2,4634                  | 0,0428    | 52,505    | 0,316     | 55,3276   | 0,755          | 0,610          |
| 7200      | 3,1338                  | 0,0044    | 1,311     | 0,017     | 4,4656    | 0,061          | 0,049          |
| 10800     | 3,8716                  | 0,0045    | 7,709     | 0,037     | 11,6220   | 0,159          | 0,129          |
| Rata-rata |                         |           |           |           | 23,8051   |                |                |

## 3. COP Peltier hari ke-1 ( $\text{COP}_p$ )

$\text{COP}$  Peltier hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{\text{rata}}$ ) dengan daya rata-rata Peltier pada hari ke-1,

$$\text{COP}_p = \frac{Q_c(\text{rata})}{P_p(\text{rata})}$$

Sehingga  $\text{COP}$  Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$= \frac{23,8051W}{73,036 W}$$

$$= 0,326$$

#### 4. COP sistem hari ke-1 (COPs)

COP sistem hari ke-1 adalah perbandingan dari total laju aliran kalor kotak pendingin ( $Q_{Crata}$ ) dengan daya rata-rata sistem pada hari ke-1,

$$COPs = \frac{Qc(rata)}{P_s(rata)}$$

Sehingga COP Peltier pada hari ke-1 adalah :

$$= \frac{23,8051W}{90,543 W}$$

$$= 0,263$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan diatas untuk perhitungan hari ke-2 dan hari ke-3 terlampir.

#### G. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin*

*Mini pin fin* berfungsi untuk menyerap panas pada sisi panas Peltier dimana media pendinginnya ialah menggunakan air. Perhitungan laju aliran kalor yang diserap *mini pin fin* pada sisi panas Peltier adalah sebagai berikut

$$Q_m = \dot{m} C_p ( T_{out} - T_{in} )$$

Diketahui :

$$\dot{m} = 0,0011 \text{ kg/s}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{35,36 \text{ } ^\circ\text{C} + 36,62 \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 35,99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan  $T_{rata} = 39,99 \text{ } ^\circ\text{C}$  maka dengan cara interpolasi diperoleh  $C_p = 4,174 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$

$$Q_{m(1)} = 0,011 \text{ kg/s} \times 4174 \text{ J/kg. } ^\circ\text{C} ( 36,62 \text{ } ^\circ\text{C} - 35,36 \text{ } ^\circ\text{C} )$$

$$= 58,51 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama maka diperoleh laju aliran kalor *mini pin finl* pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.27 Perhitungan  $Q_{\square m}$

| Waktu (s) | Tin (°C) | Tout (°C) | Trata (°C) | $\dot{m}$ (kg/s) | Cp (kJ/kg.°C) | Qm (W) |
|-----------|----------|-----------|------------|------------------|---------------|--------|
| 0         | 25,25    | 25,28     | 25,26      | 0,0000           | 4,179         | 0      |
| 3600      | 35,36    | 36,62     | 35,99      | 0,0111           | 4,174         | 58,51  |
| 7200      | 37,42    | 38,64     | 38,03      | 0,0104           | 4,174         | 52,79  |
| 10800     | 37,99    | 39,24     | 38,62      | 0,0108           | 4,174         | 56,40  |

### 4.3 Pembahasan

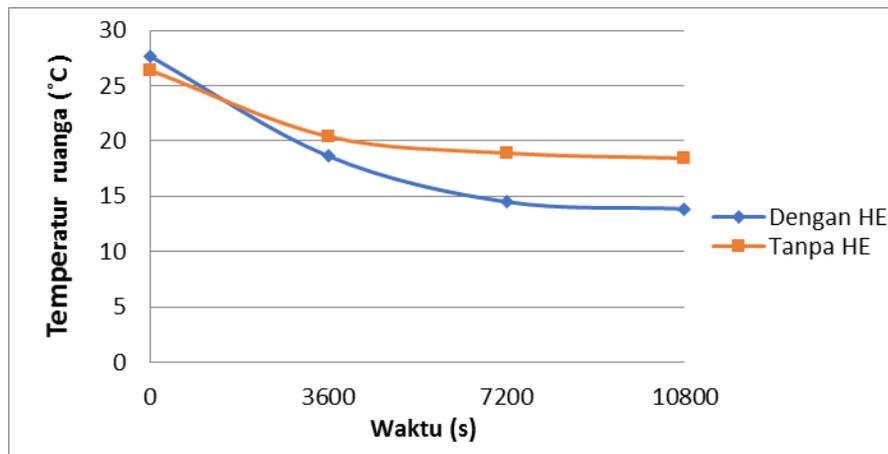
Pengujian kotak pendingin termoelektrik telah dilakukan dengan menggunakan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*. Dimana dari hasil pengujian yang dilakukan selama 24 hari dengan menggunakan *heat exchanger*, 3 hari tanpa beban 0 ml, 3 hari dengan beban 3000, 6000 dan 9000 ml air, dan tanpa *heat exchanger* 3 hari tanpa beban 0 ml, 3 hari dengan beban 3000, 6000 dan 9000 ml air. Data hasil pengujian kemudian akan diolah dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah dalam menganalisis data.

Berikut contoh grafik kotak pendingin termoelektrik menggunakan *heat exchanger* dan tidak menggunakan *heat exchanger* dengan variasi tanpa beban 0 ml, 3000, 6000 dan 9000 ml air.

#### 4.3.1 Temperatur pendingin termoelektrik dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *heat exchanger*, dan tanpa *heat exchanger* selama 3 hari untuk masing-masing beban pendingin yang berbeda dimulai dari pukul 09,00 s/d 12,00

#### 4.3.1.1 Tanpa Beban 0 ml

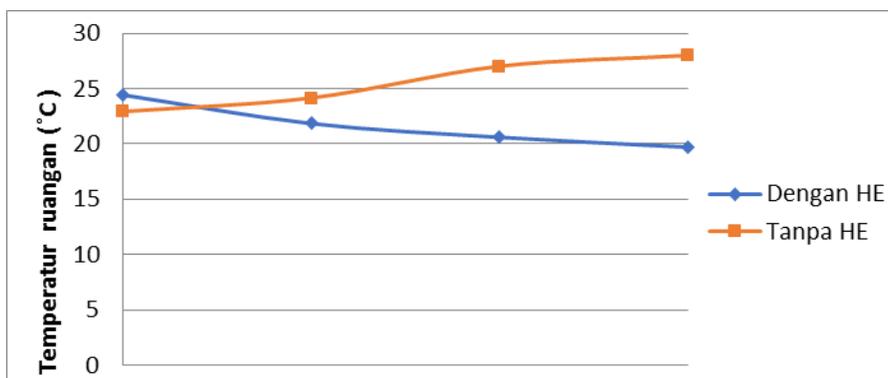


Gambar 4.1 temperatur ruangan percobaan hari ke-1

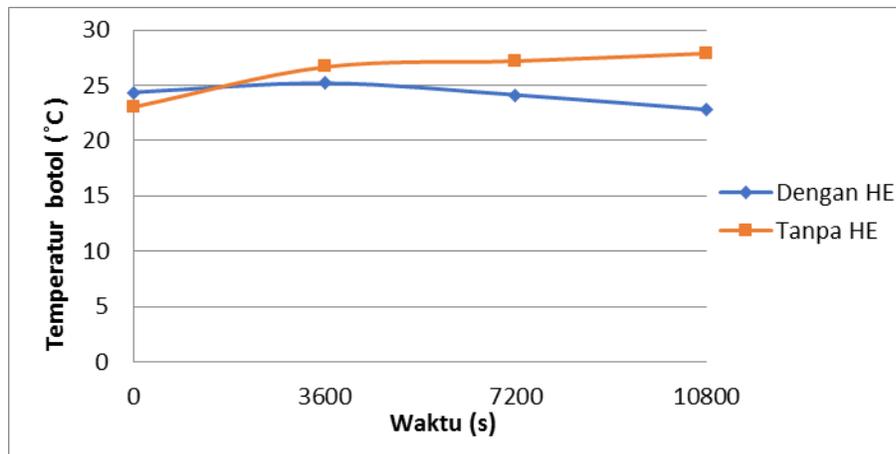
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa temperatur didalam ruang kotak pendingin, temperatur ( $T_{12}$ ) dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* pada saat 0 detik ke 3600 detik menurun. Penurunan temperatur terjadi karena panas terus diserap oleh sisi dingin Peltier. Temperatur terendah dengan *heat exchanger* sebesar, 13,84 °C dan tanpa *heat exchanger*, 18,44 °C.

Temperatur dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* pada saat 0 detik temperaturnya berbeda, karena pengambilan data di hari yang berbeda. Temperatur dengan *heat exchanger* lebih rendah dibandingkan tanpa *heat exchanger*, karena suhu air yang melalui *mini pin fin* lebih rendah untuk yang menggunakan *heat exchanger*. Oleh sebab itu, suhu sisi panas peltier ( $T_h$ ) dapat lebih rendah. Dengan suhu  $T_h$  yang rendah, maka suhu sisi dingin peltier ( $T_c$ ) juga menjadi lebih rendah. Dengan Suhu  $T_c$  rendah, maka suhu ruangan menjadi rendah.

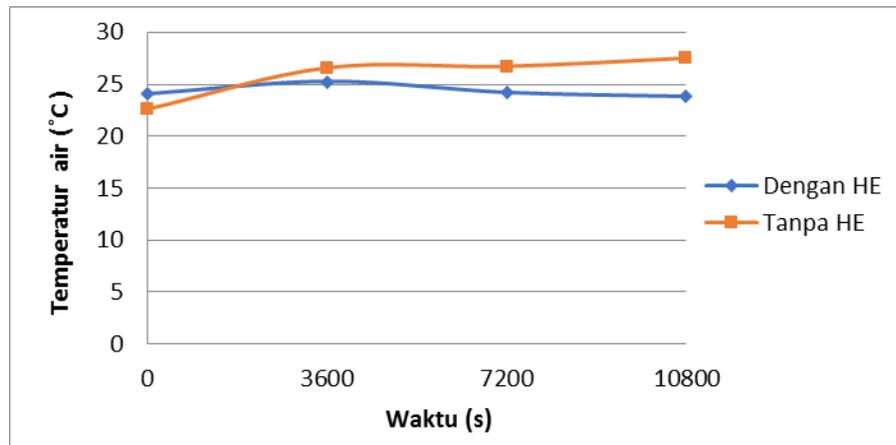
#### 4.3.1.2 Beban 3000 ml



Gambar 4.2 temperatur ruangan pengujian hari ke-1



Gambar 4.3 temperatur botol pengujian hari ke-1

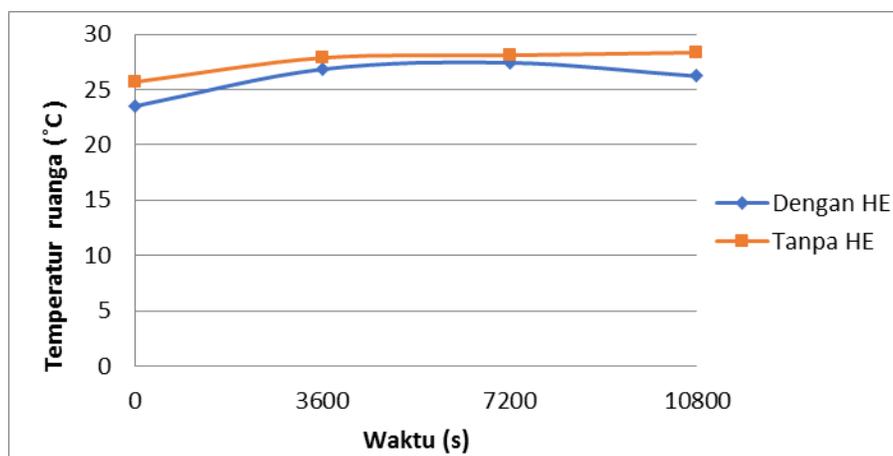


Gambar 4.4 temperatur air pengujian hari ke-1

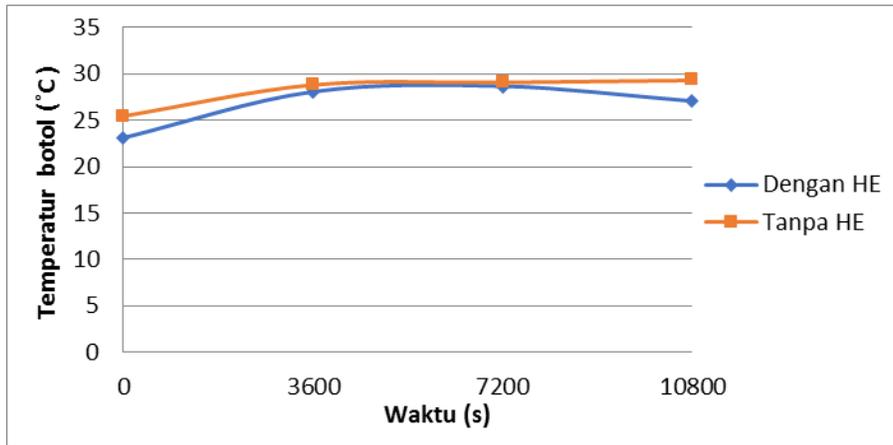
Gambar 4.2, 4.3, 4.4, menunjukkan bahwa temperatur ruangan  $T_{12}$ , botol  $T_{10}$  dan air  $T_{11}$  dengan *heat exchanger* mengalami penurunan pada saat 0 detik ke 3600 detik dan terus menurun terhadap waktu. Penurunan temperatur terjadi karena panas terus diserap oleh sisi dingin peltier. Temperatur terendah sebesar  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan tanpa *heat exchanger* berbanding terbalik dengan menggunakan *heat exchanger* temperatur naik pada saat 0 detik ke 3600 detik temperatur terus naik terhadap waktu selama pengujian. Hal ini disebabkan karena suhu air yang melalui *mini pin fin* tidak didinginkan kembali oleh *heat exchanger*. Oleh sebab itu suhu  $T_h$  menjadi tinggi, dengan suhu  $T_h$  tinggi, maka suhu  $T_c$  juga tinggi dan suhu ruangan menjadi tinggi. Temperatur terendah sebesar  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Temperatur dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* pada saat 0 detik temperaturnya berbeda, karena pengambilan data di hari yang berbeda. Temperatur dengan *heat exchanger* lebih rendah dibandingkan tanpa *heat exchanger*, karena suhu air yang melalui *mini pin fin* lebih rendah untuk yang menggunakan *heat exchanger*. Oleh sebab itu, suhu  $T_h$  dapat lebih rendah. Dengan suhu  $T_h$  yang rendah, maka suhu  $T_c$  menjadi rendah. Dengan Suhu  $T_c$  rendah, maka suhu ruangan menjadi rendah.

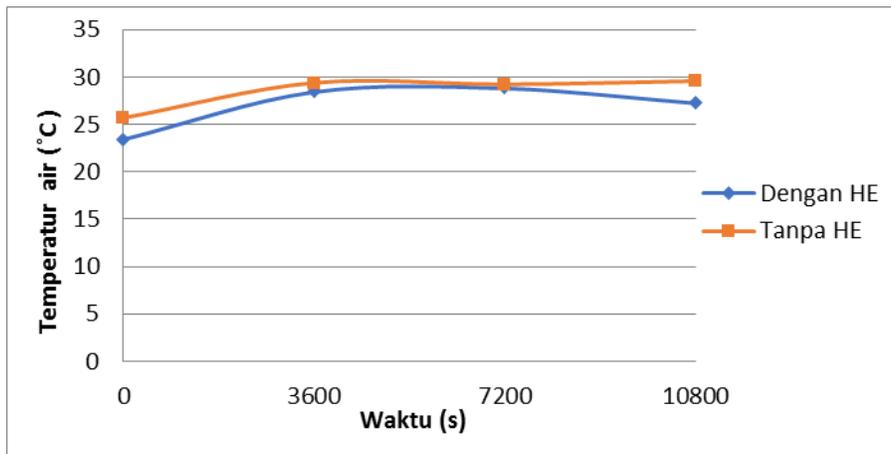
#### 4.3.1.3 Beban 6000 ml



Gambar 4.5 temperatur ruangan pengujian hari ke-1



Gambar 4.6 temperatur botol pengujian hari ke-1



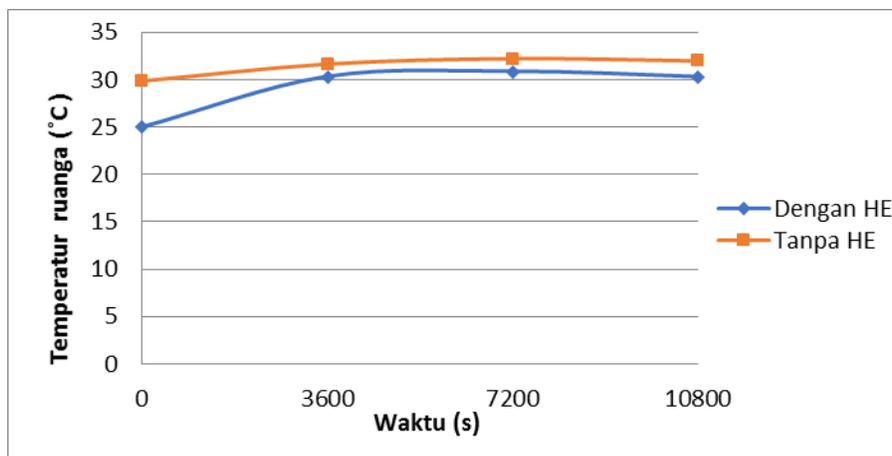
Gambar 4.7 temperatur air pengujian hari ke-1

Dari gambar 4.5, 4.6, 4.7, menunjukkan bahwa dengan *heat exchanger* temperatur ruangan  $T_{12}$ , botol  $T_{10}$ , dan air  $T_{11}$ , sama-sama mengalami kenaikan temperatur secara perlahan pada saat 0 detik ke 2700 detik, dan turun terhadap waktu pada saat 10800 detik. Hal ini dikarenakan panas yang diserap oleh sisi dingin peltier berkurang, karena di pengaruhi oleh suhu lingkungan dan daya yang masuk tidak konstan. Tempertur terendah sebesar, 26 °C, 27 °C, dan 27 °C. Sedangkan temperatur tanpa *heat exchanger* naik pada awal pengujian sampai akhir pengujian hal ini disebabkan karena, suhu air yang melalui *mini pin fin* tidak didinginkan kembali oleh *heat exchanger*. Oleh sebab itu suhu  $T_h$

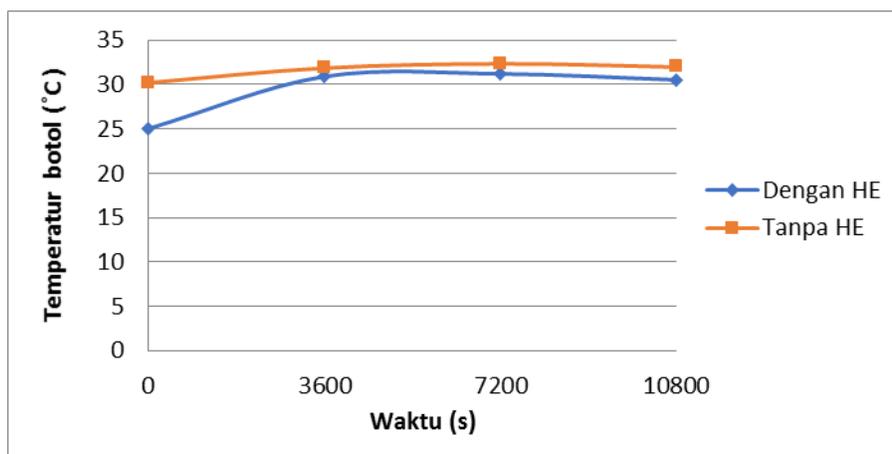
menjadi tinggi, dengan suhu yang  $T_h$  tinggi, maka suhu  $T_c$  juga tinggi dan suhu ruangan menjadi tinggi. temperatur terendah sebesar, 28 °C, 29°C, dan 30 °C.

Temperatur dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* pada saat 0 detik temperaturnya berbeda, karena pengambilan data di hari yang berbeda. Temperatur dengan *heat exchanger* lebih rendah dibandingkan tanpa *heat exchanger*, karena suhu air yang melalui *mini pin fin* lebih rendah untuk yang menggunakan *heat exchanger*. Oleh sebab itu, suhu  $T_h$  dapat lebih rendah. Dengan suhu  $T_h$  yang rendah, maka suhu  $T_c$  menjadi lebih rendah. Suhu  $T_c$  lebih rendah, maka suhu ruangan juga rendah.

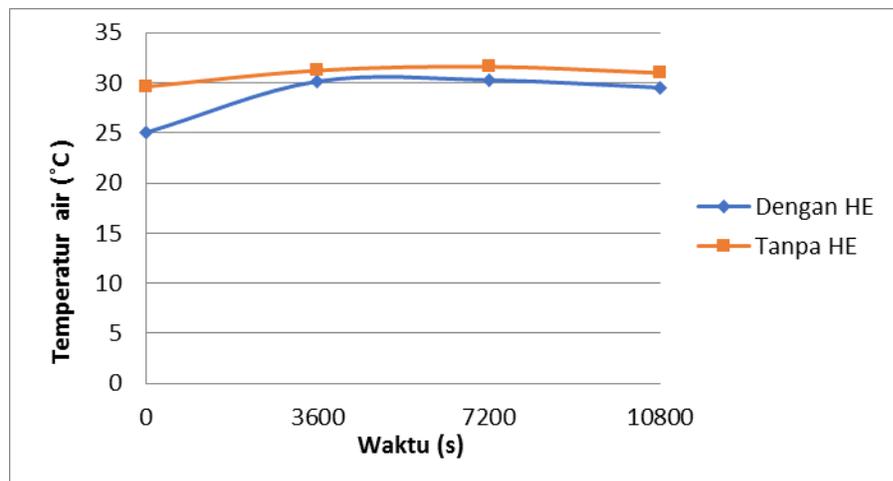
#### 4.3.1.4 Beban 9000 ml



Gambar 4.8 temperatur ruangan pengujian hari ke-1



Gambar 4.9 temperatur botol pengujian hari ke-1



Gambar 4.10 temperatur air pengujian hari ke-1

Dari gambar 4.8, 4.9, 4.10 diatas menunjukkan bahwa temperatur ruangan  $T_{12}$ , botol  $T_{10}$ , dan air  $T_{11}$  dengan *heat exchanger* sama-sama mengalami kenaikan temperatur pada saat 0 detik ke 7200 detik, dan menurun terhadap waktu saat mencapai 10800 detik. Hal ini dikarenakan panas yang diserap oleh sisi dingin peltier berkurang, karena di pengaruhi oleh suhu lingkungan dan daya yang masuk tidak konstan. Temperatur terendah sebsar, 30 °C, 31 °C, 30 °C. Sedangkan temperatur tanpa *heat exchanger* naik pada saat awal pengujian sampai akhir pengujian, karena suhu air yang melalui mini pin fin tidak didinginkan kembali oleh *heat exchanger*. Oleh sebab itu suhu  $T_h$  menjadi tinggi, dengan suhu yang  $T_h$

tinggi, maka suhu  $T_c$  juga tinggi dan suhu ruangan menjadi tinggi. Temperatur terendah sebesar,  $32^\circ\text{C}$ ,  $32^\circ\text{C}$ ,  $31^\circ\text{C}$

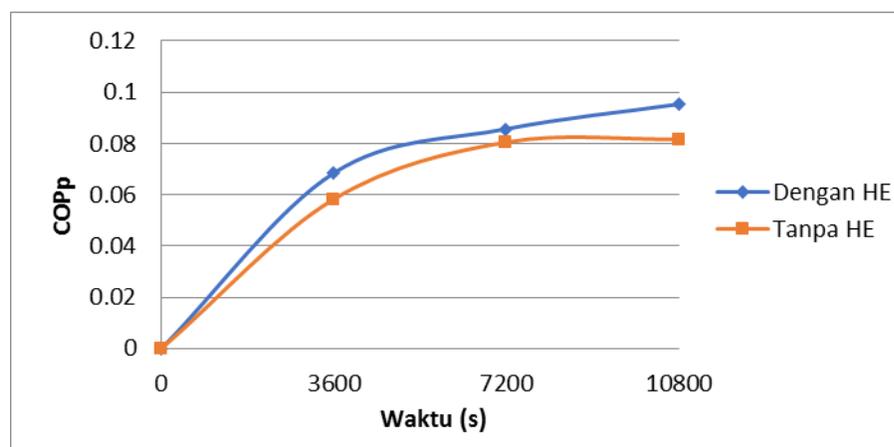
Temperatur dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* pada saat 0 detik temperaturnya berbeda, karena pengambilan data di hari yang berbeda. Temperatur dengan *heat exchanger* lebih rendah dibandingkan tanpa *heat exchanger*, karena suhu air yang melalui *mini pin fin* lebih rendah untuk yang menggunakan *heat exchanger*. Oleh sebab itu, suhu  $T_h$  dapat lebih rendah. Dengan suhu  $T_h$  yang rendah, maka suhu  $T_c$  menjadi lebih rendah. Suhu  $T_c$  lebih rendah, maka suhu ruangan lebih rendah.

#### 4.3.2. (COP) Tanpa Beban (0 ml) Dengan *Heat Exchanger* dan tanpa *heat exchanger*

COP adalah perbandingan beban kalor pendingin yang diserap dengan daya yang masuk.

##### 4.3.2.1 COP Peltier

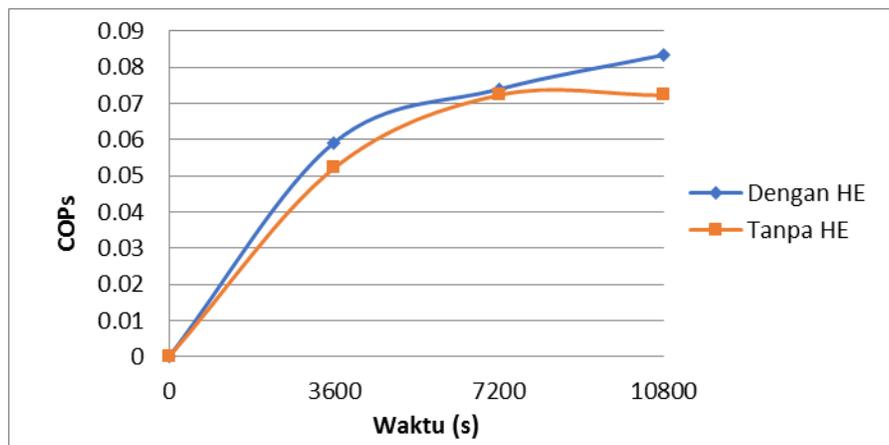
COP Peltier ( $\text{COP}_P$ ) adalah kinerja dari Peltier itu sendiri, dimana daya yang diserap di dalam kotak pendingin dibagi dengan daya yang masuk ke Peltier. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* diperoleh grafik COPnya sebagai berikut :



Gambar 4.11 COP<sub>P</sub> tanpa beban hari ke-1

#### 4.3.2.2 COP Sistem

COP sistem (COPs) adalah kinerja dari kotak pendingin dimana ruang di dalam kotak pendingin dianggap sebagai sistem. COP sistem merupakan perbandingan antara beban kalor yang di serap dengan daya yang bekerja untuk sistem. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari diperoleh grafik COPnya sebagai berikut.

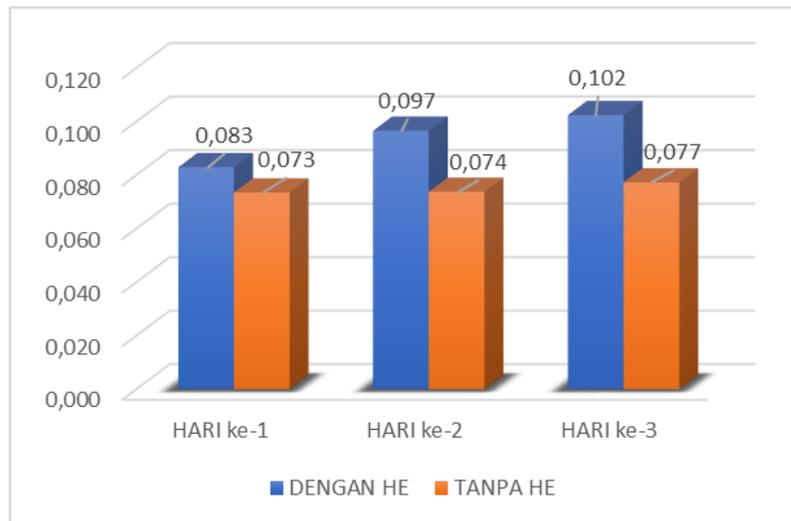


Gambar 4.12 COPs tanpa beban hari ke-1

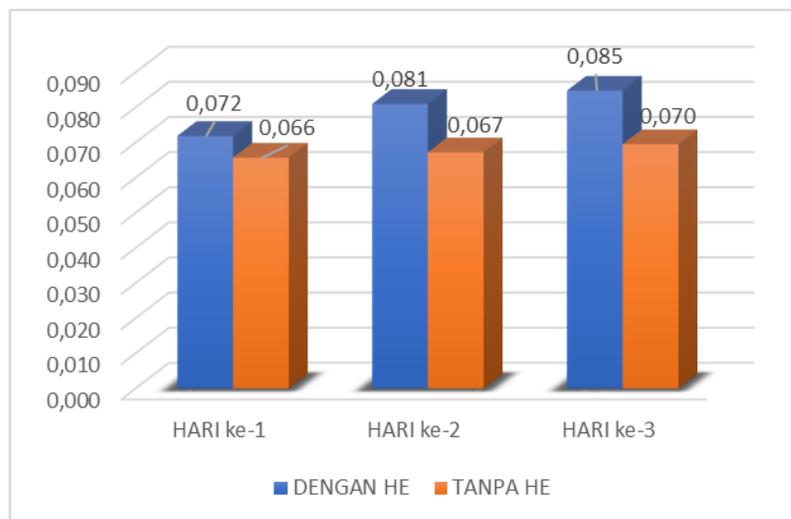
Dari gambar 4.11, 4.12 diatas dapat dilihat bahwa nilai COP Peltier, dan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* COPnya sama-sama mengalami kenaikan dari 0 detik sd 10800 detik. Temperature tinggi terjadi karena beban kalor yang diserap peltier besar. Sedangkan COP tanpa *heat exchanger* juga mengalami kenaikan dari 0 detik ke 7200 detik dan konstan pada saat 10800 detik. COP Peltier dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi sebesar 0,095 dan 0,082 dan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*, 0,083 dan 0,072.

#### 4.3.2.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs)

COPp dan COPs adalah kinerja Peltier dan kotak pendingin per hari, dimana beban kalor rata-rata ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi dengan daya Peltier rata-rata ( $P_{P(rata)}$ ). dan ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi daya sistem rata-rata dalam satu hari pengujian ( $P_{S(rata)}$ ).



Gambar 4.13 Digram COPp tanpa beban



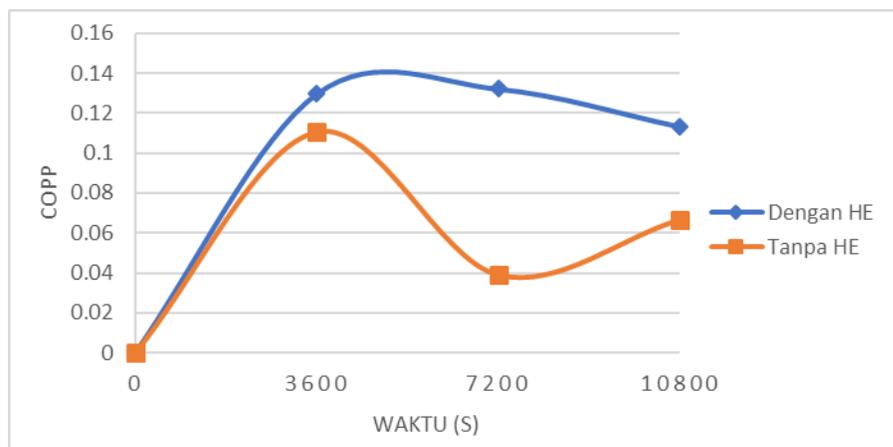
Gambar 4.14 Diagram COPs tanpa beban

Dari gambar 4.13, 4.14 diatas menunjukkan COP Peltier perhari, dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi ialah terjadi pada hari ke-3 sebesar 0,102 dengan daya peltier rata-rata sebesar 52,738 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada hari ke-3 sebesar, 0,077 dengan daya peltier rata-rata sebesar 51,400 W. Sedangkan COP Sistem perhari tertinggi ialah terjadi pada hari ke-3 sebesar 0,085 dengan daya sistem rata-rata sebesar 60,738 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada hari ke-3 sebesar 0,070 dengan daya sistem rata-rata sebesar 54,767 W .

### 4.3.3 COP Beban 3000 ml

#### 4.3.3.1 COP Peltier

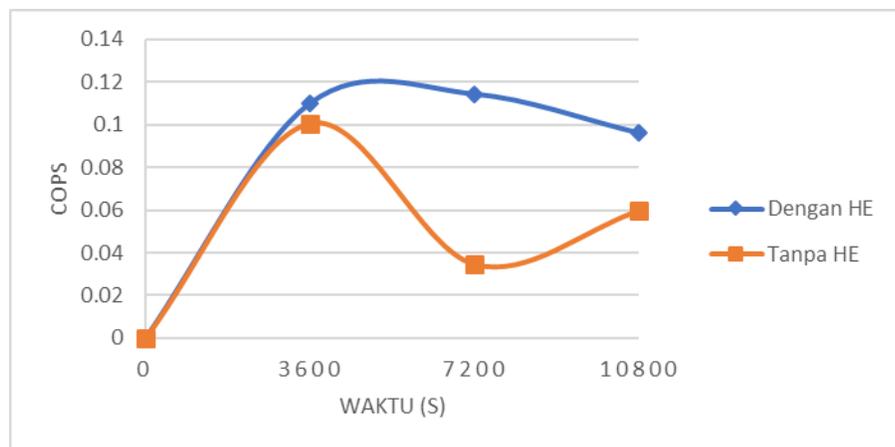
COP Peltier ( $COP_P$ ) adalah kinerja dari Peltier itu sendiri, dimana daya yang diserap di dalam kotak pendingin dibagi dengan daya yang masuk ke Peltier. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* diperoleh grafik COPnya sebagai berikut :



Gambar 4.15  $COP_P$  dengan beban 3000 ml hari ke-1

#### 4.3.3.2 COP Sistem

COP sistem (COPs) adalah kinerja dari kotak pendingin dimana ruang di dalam kotak pendingin dianggap sebagai sistem. COP sistem merupakan perbandingan antara beban kalor yang di serap dengan daya yang bekerja untuk sistem. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari diperoleh grafik COPnya sebagai berikut.

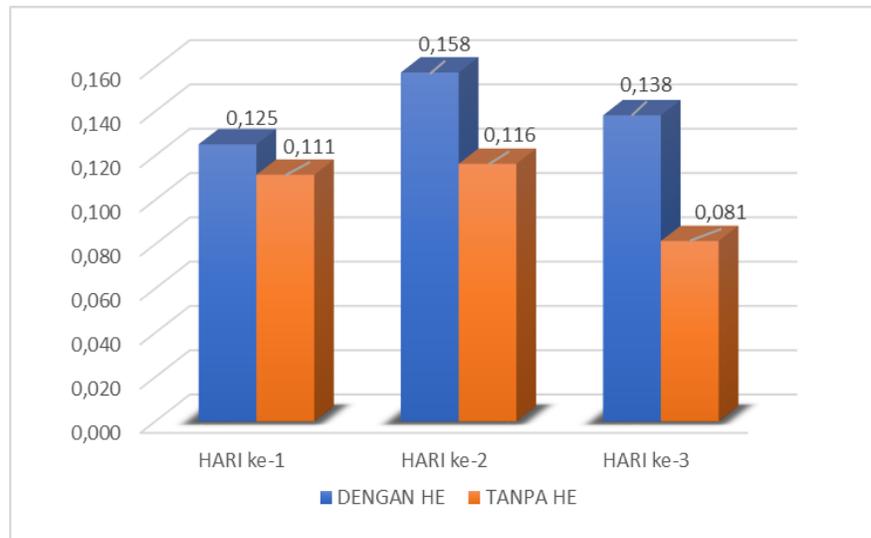


Gambar 4.16 COPs dengan beban 3000 ml hari ke-1

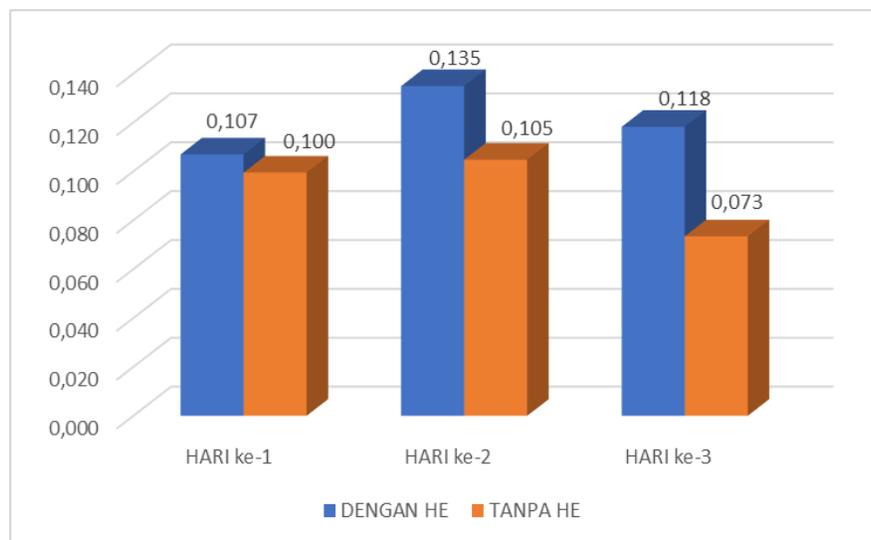
Dari gambar 4.15, 4.16 diatas menunjukkan bahwa nilai COP Peltier, dan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*. COPnya sama-sama mengalami kenaikan dari 0 detik ke 3600 detik sangat cepat dan turun terhadap waktu. Hal ini disebabkan beban kalor yang diserap peltier berkurang dibandingkan saat 3600 detik beban kalor yang diserap lebih besar. COP Peltier, dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi sebesar, 0,130 dan 0,110. Sedangkan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi sebesar, 0,114 dan 0,101.

#### 4.3.3.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs)

COPp dan COPs adalah kinerja Peltier dan kotak pendingin per hari, dimana beban kalor rata-rata ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi dengan daya Peltier rata-rata ( $P_{P(rata)}$ ). dan ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi daya sistem rata-rata dalam satu hari pengujian ( $P_{S(rata)}$ ).



Gambar 4.17 Diagram COPp dengan beban 3000 ml



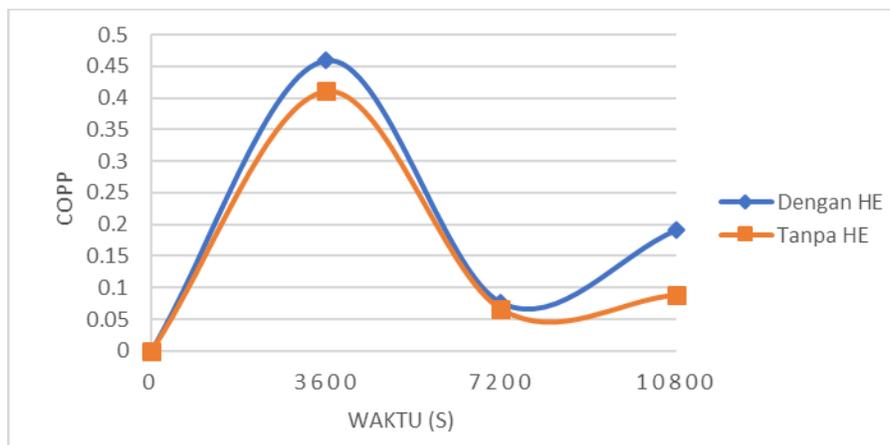
Gambar 4.18 Diagram COPs dengan beban 3000 ml

Dari gambar 4.17, 4.18 diatas menunjukkan COP Peltier perhari, dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi ialah terjadi pada hari ke-2 sebesar 0,158 dengan daya peltier rata-rata sebesar 61,490 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada hari ke-2 sebesar, 0,116 dengan daya sebesar 59,432 W. Sedangkan COP Sistem perhari tertinggi ialah terjadi pada hari ke-2 sebesar 0,135 dengan daya sistem rata-rata sebesar 71,396 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada hari ke-3 sebesar 0,105 dengan daya sistem rata-rata sebesar 66,984 W .

#### 4.3.4 COP Beban 6000 ml

##### 4.3.4.1 COP Peltier

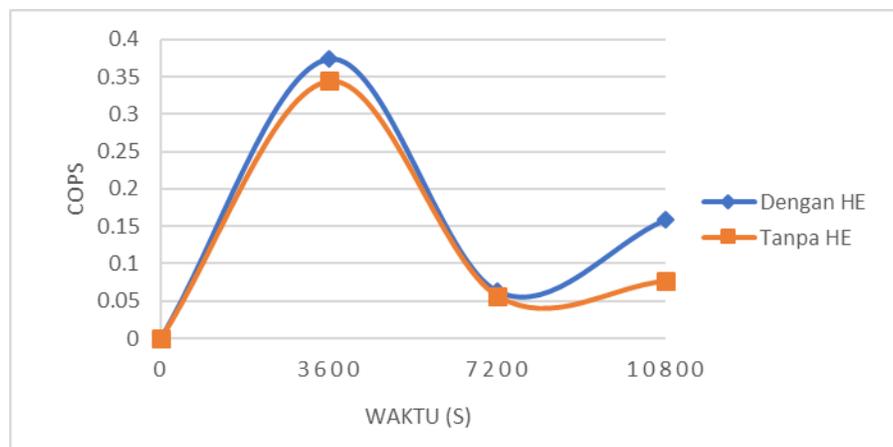
COP Peltier ( $COP_P$ ) adalah kinerja dari Peltier itu sendiri, dimana daya yang diserap di dalam kotak pendingin dibagi dengan daya yang masuk ke Peltier. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* diperoleh grafik COPnya sebagai berikut :



Gambar 4.19  $COP_P$  dengan beban 6000 ml hari ke-1

##### 4.3.4.2 COP Sistem

COP sistem (COPs) adalah kinerja dari kotak pendingin dimana ruang di dalam kotak pendingin dianggap sebagai sistem. COP sistem merupakan perbandingan antara beban kalor yang di serap dengan daya yang bekerja untuk sistem. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari diperoleh grafik COPnya sebagai berikut

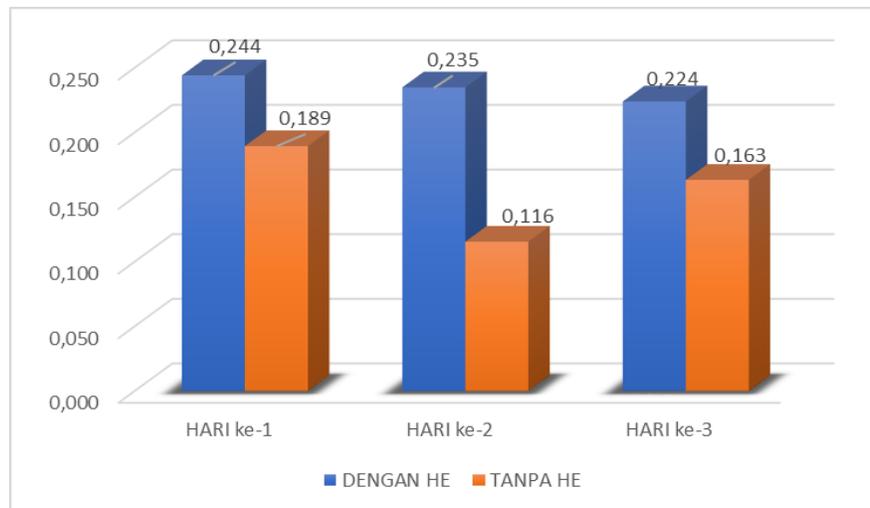


Gambar 4.20 COPs dengan beban 6000 ml hari ke-1

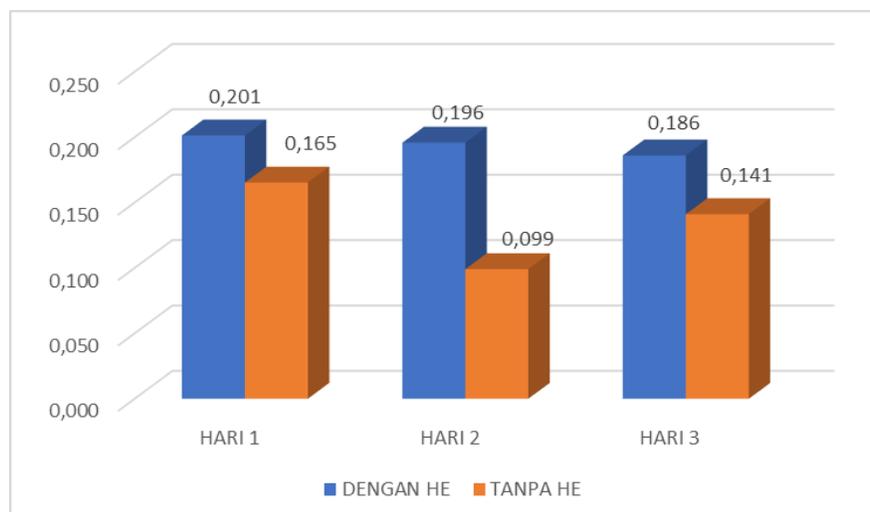
Dari gambar 4.19, 4.20 diatas menunjukkan bahwa nilai COP Peltier, dan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*, COPnya sama-sama mengalami kenaikan dari 0 detik ke 3600 detik sangat cepat dan turun terhadap waktu. Hal ini disebabkan beban kalor yang diserap peltier berkurang dibandingkan saat 3600 detik, beban kalor yang diserap lebih besar. COP Peltier, dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi sebesar, 0,459 dan 0,411. Sedangkan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi sebesar, 0,375 dan 0,345.

#### 4.3.4.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs)

COPp dan COPs adalah kinerja Peltier dan kotak pendingin per hari, dimana beban kalor rata-rata ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi dengan daya Peltier rata-rata ( $P_{P(rata)}$ ). dan ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi daya sistem rata-rata dalam satu hari pengujian ( $P_{S(rata)}$ ).



Gambar 4.21 Digram COPp dengan beban 6000 ml



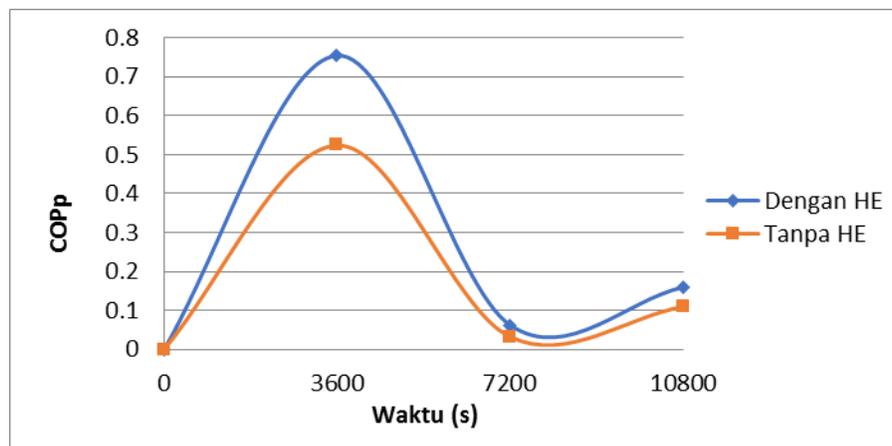
Gambar 4.22 Digram COPs dengan beban 6000 ml

Dari gambar 4.21, 4.22 diatas menunjukkan COP Peltier perhari, dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi ialah terjadi pada hari ke-1 sebesar 0,244 dengan daya peltier rata-rata sebesar 82,379 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada ke-1 sebesar, 0,189 dengan daya sebesar 67,339 W. Sedangkan COP Sistem perhari tertinggi ialah terjadi pada hari ke-1 sebesar 0,201 dengan daya sistem rata-rata sebesar 99.917 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada hari ke-1 sebesar 0,165 dengan daya sistem rata-rata sebesar 77,716 W.

#### 4.3.5 COP Beban 9000 ml

##### 4.3.5.1 COP Peltier

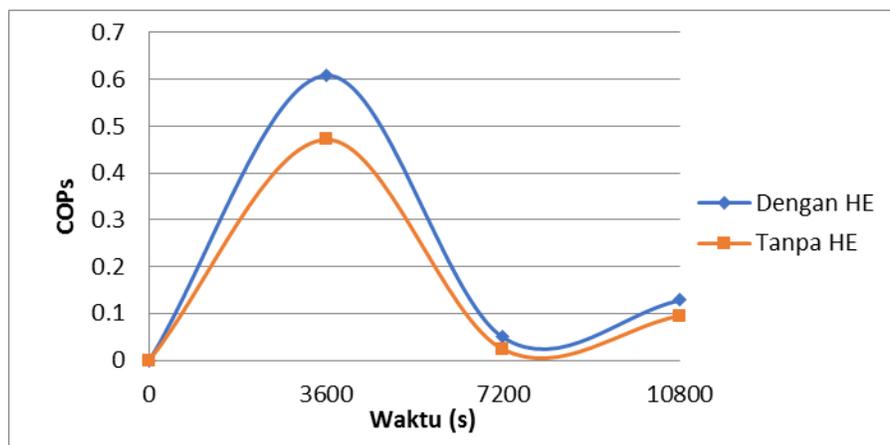
COP Peltier ( $COP_P$ ) adalah kinerja dari Peltier itu sendiri, dimana daya yang diserap di dalam kotak pendingin dibagi dengan daya yang masuk ke Peltier. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* diperoleh grafik COPnya sebagai berikut :



Gambar 4.23  $COP_P$  dengan beban 9000 ml hari ke-1

##### 4.3.5.2 COP Sistem

COP sistem (COPs) adalah kinerja dari kotak pendingin dimana ruang di dalam kotak pendingin dianggap sebagai sistem. COP sistem merupakan perbandingan antara beban kalor yang di serap dengan daya yang bekerja untuk sistem. Setelah melakukan percobaan selama 24 hari diperoleh grafik COPnya sebagai berikut :

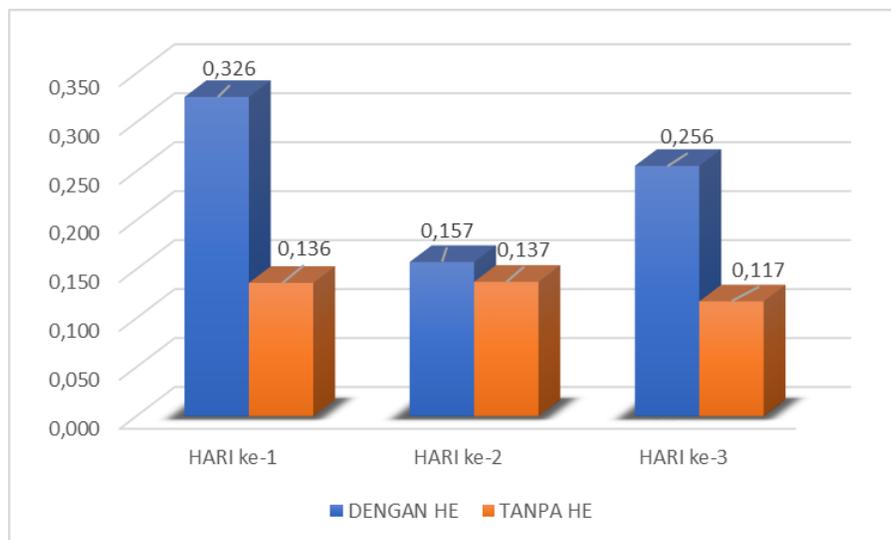


Gambar 4.24 COPs dengan beban 9000 ml hari ke-1

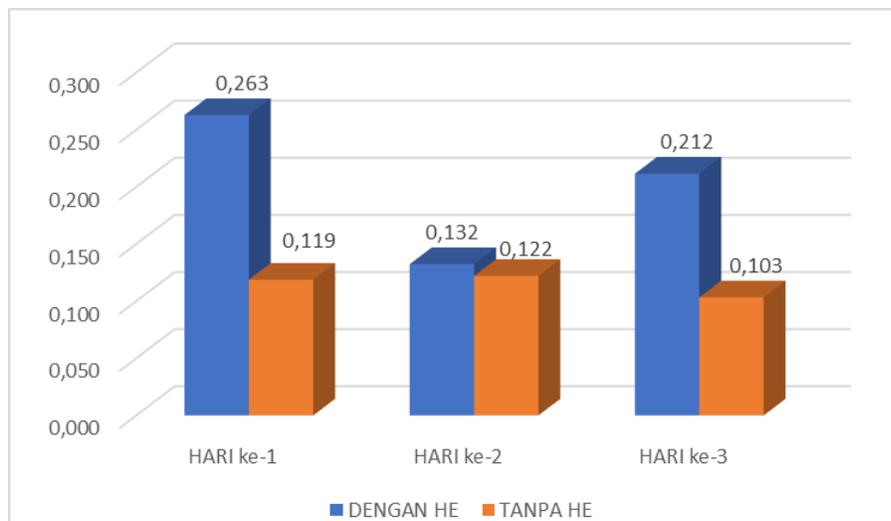
Dari gambar 4.23, 4.24 diatas menunjukkan bahwa nilai COP Peltier, dan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger*, COPnya sama-sama mengalami kenaikan dari 0 detik ke 3600 detik sangat cepat dan turun terhadap waktu. Hal ini disebabkan beban kalor yang diserap peltier berkurang dibandingkan saat 3600 detik, beban kalor yang diserap lebih besar. COP Peltier, dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi sebesar, 0,755 dan 0,525. Sedangkan COP Sistem dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi sebesar, 0,610 dan 0,472.

#### 4.3.5.3 COP Peltier (COPp) dan COP Sistem (COPs)

COPp dan COPs adalah kinerja peltier dan kotak pendingin per hari, dimana beban kalor rata-rata ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi dengan daya Peltier rata-rata ( $P_{P(rata)}$ ) dan ( $Q_{C(rata)}$ ) dibagi daya sistem rata-rata dalam satu hari pengujian ( $P_{S(rata)}$ ).



Gambar 4.25 Digram COPp dengan beban 9000 ml



Gambr 4.26 Digram COPs dengan beban 9000 ml

Dari gambar 4.25, 4.26 diatas menunjukkan COP Peltier perhari, dengan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* tertinggi ialah terjadi pada hari ke-1 sebesar 0,326 dengan daya peltier rata-rata sebesar 73,036 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada ke-1 sebesar, 0,136 dengan daya sebesar 70,262 W. Sedangkan COP Sistem perhari tertinggi ialah terjadi pada hari ke-1 sebesar 0,263 dengan daya sistem rata-rata sebesar 90.543 W dan tanpa *heat exchanger* tertinggi pada hari ke-1 sebesar 0,119 dengan daya sistem rata-rata sebesar 81,987 W .

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan dapat di ambil kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa temperatur ruangan  $T_{12}$ , botol  $T_{10}$ , air  $T_{11}$ , dengan menggunakan *heat eatxchanger* lebih rendah dibandingkan dengan temperatur tanpa *heat eatxchanger*.
2. Dari hasil anailisi menunjukan bahwa COP per jam pada pengujian dengan menggunakan *heat exchanger* dan tanpa *heat exchanger* COPnya naik turun tidak teratur, disebabkan daya yang masuk tidak konstan. Sedangkan untuk COP Peltier perhari dan COP Sistem perhari menunjukan bawah dengan menggunakan *heat exchanger* COP lebih tinggi dibandingkan tanpa *heat exchanger*.

#### 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan tegangan dan arus listrik yang lebih rendah dan tetap konstan. Supaya mendapatkan Qc lebih besar dan temperatur ruangan kotak pendingin lebih rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, H.A., Mainil, R.I., Azizi, A., 2017, *Alat Pemanas Dan Pendingin Portable Menggunakan Termoelektrik Dengan Tegangan Input 6 Volt Dengan Tambahan Heat Pipe Sebagai Media Pemindah Panas*, Jurnal F Teknik, Vol. 4, No. 2, p. 1-5.
- Anwar, K., 2011, *Efektivitas Alat Penukar Kalor Pada Sistem Pendingin Generator Plta*, Majalah Ilmiah Mektek, Vol. 13, No. 3, p 185-193.
- Aardian, Z., 2018, *Sistem Pendinginan Coolant Menggunakan Termoelektrik Dengan Unit Pembuang Panas Heat Pipe*, Skripsi Teknik Mesin Universitas Mataram
- Cenggel Y.A., *Heat Transfer : A Practical Approach 2nd ed.*, 2003:667.
- Desi, P., 2017, *Perancangan kotak pendingin dan penghangat minuman menggunakan modul termoelektrik peltier TEC1-12706 berbasis mikrokontroler arduino uno*, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Girawan, B.A., Arianto, F., 2019, *Optimalisasi Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik Berpendingin Air*, Dinamika Teknik Mesin, Vol. 9, No. 1, p. 15-22.
- Hendra, A., 2017, *Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik Dengan Rangkain Seri dan Paralel*, Skripsi Teknik Mesin Universitas Mataram.

- Istanto, T., Juwana, W.E., 2010, *Karakteristik Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan Sirip-sirip Pin Silinder Tirus Susunan Segaris dan Selang-seling dalam Saluran Segi Empat*, jurnal teknik mesin, Vol. 12, No. 1, p 56-64.
- Holman, J.P., terjemahan E. Jasjfi., 1995, *Perpindahan Kalor*, Edisi ke VI, Erlangga, Jakarta.
- Kennedy, Anwar, K., Aanggara, M.B., 2017. *Pengaruh Temperature Fluida Pendingin Terhadap Unjuk Kerja Sistim Termoelektrik*, Jurnal Mekanikal, Vol. 8, No. 2, p. 759-767.
- Mirmanto, Sutanto, R., Putra, D.K., 2018. *Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Variasi Laju Aliran Massa Air Pendingin*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 7, No. 1, p. 44-49.
- Mahyudin, I., 2019, *Kinerja Kotak Pendingin Termoelektrik menggunakan solar panel unit pembuang panas mini channel*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Purwiyanti, S., Setyawan, A., FX, Selviana, W., Purnamasari, D., 2017, *Aplikasi Efek Peltier Sebagai Kotak Penghangat Dan Pendingin Berbasis Mikroprocessor Arduino Uno*, Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro Vol. 11, No. 3, p. 100-104
- Pradana M.A., 2020 *Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Alumunium, Kuningan Dan Seng*, Jurnal Teknik Elektro, Vol. 09, No. 2, p. 251-258.
- Riffat, S.B., Ma X., 2003, Review: *Thermoelectrics: a review of present and potential applications*, Applied Thermal Engineering 23 913-935, Pergamon-Elsevier Science Ltd.
- Wahyu, R., Rangkuti, C., 2018, *Pengaruh Beban Pendinginan Minuman Kaleng Terhadap Suhu Pada Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Dengan Menggunakan Listrik Dari Akumulator*, Seminar nasional Jurusan, Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti, p. 247-252.

