



**ANALISIS PENGARUH TIPE *HEATSINK* TERHADAP KINERJA
SISTEM PENDINGIN *PORTABLE MINI REFRIGERATOR***

SKRIPSI

Oleh

Boma Rari Diwangkara

NIM 141910101077

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**ANALISIS PENGARUH TIPE *HEATSINK* TERHADAP KINERJA
SISTEM PENDINGIN *PORTABLE MINI REFRIGERATOR***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar sarjana

Oleh

Boma Rari Diwangkara

NIM 141910101077

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Segala puji serta syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan yang maha esa pemilik seluruh alam semesta baik dunia maupun akhirat. Tidak lupa pula shalawat serta salam tercurahkan kepada junjunganku Nabi Muhammad SAW. Bearsamaan dengan ini saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Ayahanda Budi Prayitno, Ibunda Tri Wahyuni, Kakak Ariyan Eka Ramadhana, Adik Rahma Risky Nabila Putri serta keluarga yang lainnya yang telah memberikan doa, pengorbanan, *support*, kasih sayang, serta motivasi.
2. Dosen – dosen dari Jurusan Teknik Mesin UNEJ dan dosen lain pada saat mata kuliah umum yang telah memberikan ilmu serta bimbingan hingga saya bisa menyelesaikan studi saya.
3. Teman – teman dari *Thermoelectric and Condenser Research Team*, Gilang Firmansyah, Yudha Wiradika, Arif Hidayathulloh, Kemas Azzam H., M. Faisol dan Mas Dirga yang memberikan pengorbanan waktu dan bantuan.
4. Keluarga Besar Teknik Mesin UNEJ 2014 (M16) yang selalu membantu, memberi semangat, serta memberikan warna – warni kehidupan dan suka – duka semasa kuliah.
5. Teman – Teman Kos As-Sofwah, Davied wijaya, Ivan Permadi Mahfud, M. Gerindo Dwiaqso, Fajar Maulana, Happy Tri Bagus, Tono Dwi Pranata, Anton Prasetyo, Dodik Darmawan dan seluruh penghuni kos yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
6. Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) FT UJ, Klub Metic (*Mechanical Journalistic*), KKN UMD 01 Kelurahan Curahdami, serta teman – teman organisasi lainnya yang telah meberikan ilmu yang sangat berharga selama berkuliah di Universitas Jember.
7. Teman – temanku di Kediri dan Madiun, baik teman TK, SD, SMP, dan SMA Serta seluruh pihak – pihak yang mendukung dan tidak bisa saya sebutkan satu – persatu.

MOTTO

Tujuan Pendidikan itu untuk mempertajam kecerdasan, memperkuat kemauan dan memperhalus perasaan.

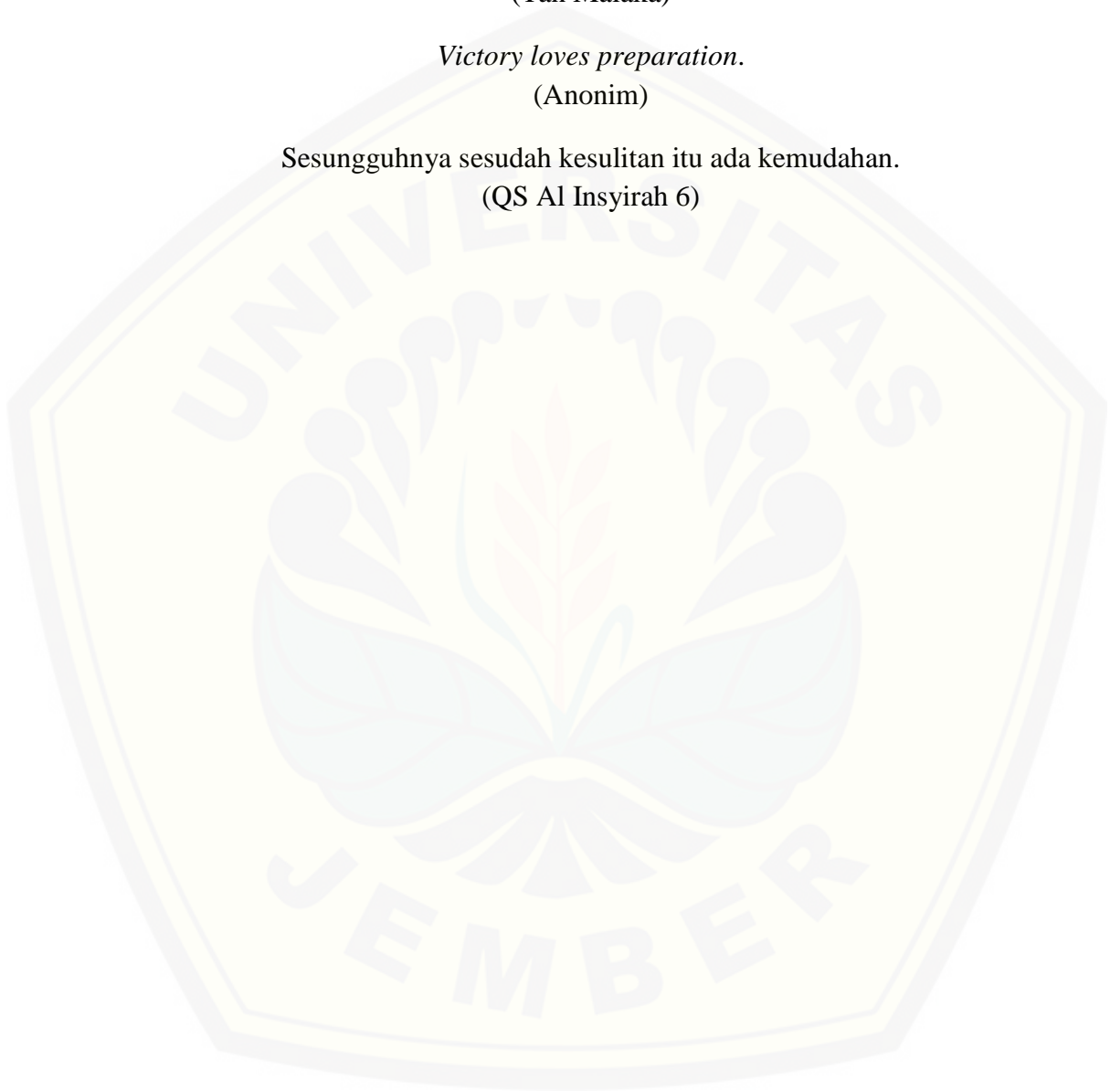
(Tan Malaka)

Victory loves preparation.

(Anonim)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

(QS Al Insyirah 6)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Boma Rari Diwangkara

NIM : 141910101077

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ANALISIS PENGARUH TIPE *HEATSINK* TERHADAP KINERJA SISTEM PENDINGIN *PORTABLE MINI REFRIGERATOR*” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Juli 2019

Yang menyatakan,



Boma Rari Diwangkara

NIM 141910101077

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH TIPE *HEATSINK* TERHADAP KINERJA
SISTEM PENDINGIN *PORTABLE MINI REFRIGERATOR***

Oleh:

Boma Rari Diwangkara

NIM 141910101077

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Hary Sutjahjono, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Moch. Edoward Ramadhan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ANALISIS PENGARUH TIPE *HEATSINK* TERHADAP KINERJA SISTEM PENDINGIN *PORTABLE MINI REFRIGERATOR*” karya Boma Rari Diwangkara telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : 30 Juli 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Moch. Edoward R., S.T., M.T.
NIP 19870430 201404 1 001

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP 19711114 199903 1 002

Hari Arbiantara B., S.T., M.T.
NIP 19670924 199412 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH TIPE *HEATSINK* TERHADAP KINERJA SISTEM PENDINGIN *PORTABLE MINI REFRIGERATOR*; Boma Rari Diwangkara, 141910101077; 2019; 63 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyimpanan obat adalah suatu kegiatan menjaga dan memelihara dengan cara menempatkan obat-obatan yang diterima pada tempat yang terhindar dari kerusakan fisik maupun kimia dan mutunya tetap terjamin. Obat yang tidak disimpan dengan baik akan mudah rusak, berkurang atau hilang khasiatnya, serta yang paling mengkhawatirkan yaitu akan menjadi toksik atau racun bagi yang menggunakannya. Menyimpan obat yang benar akan menjaga kualitas obat tersebut. Contoh beberapa obat yang harus disimpan dalam lemari pendingin adalah vaksin, suppositoria, anti-thetanus serum dan anti-bisa ular.

Untuk membantu program ramah lingkungan atau *green energy*, perlu dibuat suatu *portable mini refrigerator* (mesin pendingin mini) yang menggunakan sumber listrik arus searah (arus DC). Hal ini dapat diperoleh dengan memanfaatkan sebuah modul *thermoelectric* dan *heatsink* yang menggantikan peran kompresor sebagai mesin pemindah panas. Pendingin *thermoelectric* atau pendingin Peltier merupakan pendingin yang ramah lingkungan karena tidak memerlukan *refrigerant* seperti pendingin pada umumnya. Prinsip utamanya adalah memindahkan panas dari satu sisi ke sisi lain ketika dilewati arus searah. Hal ini membuka peluang bagi pemanfaatan energi yang *portable* dengan menggunakan elemen *thermoelectric*.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode percobaan yang dilakukan di laboratorium dengan menjadikan penelitian terdahulu sebagai referensi untuk melakukan percobaan menggunakan elemen termoelektrik (*Peltier*). Penelitian ini menggunakan 2 buah elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan variasi tipe *heatsink* panas dan variasi kecepatan udara yang mengalir. Variasi tipe *heatsink* dilakukan dengan menempatkan *heatsink* di terminal panas

elemen peltier pada waktu pendinginan 60 menit dengan interval 10 menit. Untuk variasi kecepatan udara yang diberikan adalah 0,5 m/s; 1 m/s dan 1,5 m/s.

Sistem pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER) memiliki kinerja yang lebih baik jika menggunakan *heatsink* tipe *extrude* daripada menggunakan *heatsink* tipe *slot* dan *double-slot*. Pada penelitian yang telah dilakukan, nilai COP dengan variasi kecepatan fluida, tipe *heatsink extrude* selalu memiliki nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *heatsink slot* dan *double-slot*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan aliran fluida yang digunakan maka suhu kotak pendingin semakin rendah. Suhu terendah kotak pendingin menggunakan *heatsink* bertipe *extrude*, *slot*, dan *double-slot* pada TEC kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menghasilkan suhu terendah sebesar 20,73 °C, 21,50 °C, dan 21,50 °C. Sedangkan pada kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menghasilkan suhu terendah sebesar 19,40 °C, 21,00 °C, dan 21,30 °C dan pada kecepatan aliran fluida 1,5 m/s adalah 18,65 °C, 18,70 °C, dan 19,40 °C. Dari ketiga kecepatan tersebut menunjukkan pendinginan pada kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menghasilkan suhu yang lebih rendah dari kecepatan aliran fluida 1,0 m/s dan 0,5 m/s. Dimana mengindikasikan penurunan kecepatan aliran fluida dapat menyebabkan meningkatnya suhu di dalam kotak pendingin. Begitu pula sebaliknya, penambahan kecepatan aliran fluida dapat menyebabkan suhu di dalam kotak pendingin turun.

Hasil penelitian menunjukkan masing – masing tipe *heatsink* memiliki karakter efisiensi yang berbeda – beda. Pada perhitungan efisiensi dengan mengabaikan daya kipas, dapat dilihat penggunaan *heatsink extrude* dan *slot* memiliki efisiensi yang tinggi pada kecepatan aliran fluida sedang (*middle*) yaitu 1,0 m/s sebesar 6,70013 dan 5,73319. Penggunaan *heatsink double-slot* cenderung mengalami penambahan efisiensi seiring penambahan kecepatan aliran fluida. Sedangkan perhitungan efisiensi menggunakan keseluruhan daya kipas, dari ketiga tipe *heatsink* rata – rata memiliki nilai efisiensi tertinggi pada kecepatan aliran fluida sedang yaitu 1,0 m/s

SUMMARY

ANALYSIS EFFECT OF HEATSINK TYPES ON PERFORMANCE OF PORTABLE MINI REFRIGERATOR COOLING SYSTEM; Boma Rari Diwangkara, 141910101077; 2019; 63 Pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Medicines storage is an activity of maintaining by placing medicines received in a place that is protected from physical and chemical damage and the quality is still guaranteed. Medicines that are not stored properly will be easily damaged, reduced or lost, and the most worrying is that they will be toxic to those who use them. Storing the right medicines will maintain the quality of the medicine. Examples of some medicines that must be stored in refrigerators are vaccines, suppositories, serum anti-tetanus and anti-snake venom.

To help environmentally friendly programs or green energy, it is necessary to make a portable mini refrigerator that uses direct current (DC) electricity sources. This can be obtained by utilizing a thermoelectric and heatsink module that replaces the role of the compressor as a heat transfer machine. Thermoelectric coolers or Peltier coolers are environmentally friendly coolers because they do not require refrigerants. The main principle is to move heat from one side to the other when direct current is passed. This opens up opportunities for portable energy utilization using thermoelectric elements.

The research method used is the experimental method carried out in the laboratory by making the previous research as a reference for conducting experiments using thermoelectric elements (Peltier).. This study uses 2 thermoelectric elements (Peltier) with variations in heatsink type and variations in the speed of air flowing. Heatsink type variations are carried out by placing the heatsink in the hot terminal of the peltier element at 60 minutes of cooling time at 10 minute intervals. For variations in air velocity given is 0.5 m/s; 1 m/s and 1.5 m/s.

Thermoelectric Refrigerator (TER) cooling system has a better performance when using extrude type heatsink than using slot and double-slot heatsink. In the research that has been done, the value of COP with variations in fluid velocity, extrude heatsink type always has a higher value compared to the heatsink slot and double-slot.

The results showed that the greater the speed of fluid flow used, the lower the temperature of the cooler box. The lowest temperature of the cooler uses the heatsink type extrude, slot, and the double-slot at the TEC the fluid flow velocity of 0.5 m/s produces the lowest temperature of 20.73 °C, 21.50 °C, and 21.50 °C. 1.0 m/s fluid produces the lowest temperature of 19.40 °C, 21.00 °C, and 21.30 °C and at fluid flow speeds of 1.5 m/s are 18.65 °C, 18.70 °C, and 19, 40 °C. From the three speeds of fluid, the cooling at the fluid flow velocity of 1.5 m/s results in a lower temperature than the fluid flow velocity of 1.0 m/s and 0.5 m/s. Which indicates a decrease in the speed of fluid flow can cause an increase in temperature in the cooler. Otherwise, increasing the velocity of fluid flow can cause the temperature in the cooler to drop.

The results show that each type of heatsink has different efficiency characteristics. In calculating efficiency by ignoring fan power, it can be seen that the use of extrude and slot heatsink has a high efficiency at the middle fluid flow velocity of 1.0 m/s of 6,70013 and 5,73319. The use of double-slot heatsink tends to experience additional efficiency as the fluid flow rate increases. While the efficiency calculation uses the overall fan power, from the three heatsink types the average has the highest efficiency value at the medium fluid flow velocity of 1.0 m/s.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Rangkaian Sel *Peltier* Terhadap Kinerja *Mini Refrigerator Portable*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Hary Sutjahjono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, Moch. Edoward R., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
2. Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I, Hari Arbiantara B., S.T., M. T., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
3. Ir. FX Kristianta, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa.
4. Bapak/Ibu dan keluarga yang telah memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 30 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY.....	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.3.1 Tujuan	3
1.3.2 Manfaat	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 <i>A Comparison of Fin Geometries for Heatsinks in Laminar Forced Convection Part I.....</i>	<i>5</i>
2.1.2 <i>Thermal Performance of an Elliptical Pin Fin Heatsink.....</i>	<i>7</i>
2.1.3 <i>The Performance Analysis of The Refrigerated Cooling</i>	

<i>System Using Heatsink Extruded Types Compared with Heatsink Slot Types</i>	8
2.2 Konsep Dasar	9
2.3 Termoelektrik	9
2.3.1 Efek Seebeck.....	10
2.3.2 Efek Peltier	11
2.4 Prinsip Kerja Termoelektrik	12
2.4.1 <i>Figur of Merit</i>	13
2.4.2 Konduksi Panas Diantara Dua Sambungan Termoelektrik	14
2.4.3 Koefisien Seebeck Bahan	15
2.4.4 <i>Coefficient of Performance</i>	15
2.5 Perpindahan Kalor	16
2.5.1 Perpindahan Kalor Konduksi.....	16
2.5.2 Faktor Bentuk Konduksi	16
2.6 Beban Pendinginan	17
2.7 Daya Listrik	18
2.8 Efisiensi Pendinginan Sistem	19
2.9 Modul Termoelektrik	19
2.10 Heatsink	20
2.10.1 Heatsink <i>Extrude</i>	21
2.10.2 Heatsink <i>Slot</i>	21
2.10.3 Heatsink <i>Double-slot</i>	22
2.11 Hipotesis	22
BAB 3. METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat dan Instrumen Penelitian.....	23
3.2.2 Bahan Penelitian	23
3.3 Metode Penelitian	25
3.4 Prosedur Penelitian	25

3.4.1	Persiapan Alat Pengujian	25
3.4.2	Pemeriksaan Alat Pengujian	25
3.4.3	Tahapan Pengambilan Data	25
3.5	Rangkaian <i>Portable Mini Refrigerator</i>	26
3.6	Variabel.....	29
3.6.1	Variabel Bebas	29
3.6.2	Variabel Terikat	29
3.6.3	Variabel Kontrol	29
3.7	Diagram Alir.....	30
3.8	Pengambilan Data	31
BAB 4. PEMBAHASAN		32
4.1	Data Hasil Penelitian	32
4.1.1	Data Hasil Penelitian Pada Kecepatan Fluida 0,5 m/s.....	32
4.1.2	Data Hasil Penelitian Pada Kecepatan Fluida 1,0 m/s.....	33
4.1.3	Data Hasil Penelitian Pada Kecepatan Fluida 1,5 m/s.....	33
4.2	Kemampuan Pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC).....	38
4.3	Kemampuan Pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) pada Kecepatan Fluida 0,5 m/s; 1,0 m/s dan 1,5 m/s.....	42
4.4	Perhitungan Beban Pendingin	49
4.5	Perhitungan COP (<i>Coefficient of Performance</i>)	55
4.6	Perhitungan Efisiensi Pendinginan Sistem	59
BAB 5. PENUTUP.....		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN.....		66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Diagram skematik heatsink	5
Gambar 2.2 Grafik hubungan antara bilangan Nusselt dengan bilangan Reynolds untuk berbagai geometri <i>fin</i>	6
Gambar 2.3 Grafik hubungan antara bilangan Nusselt dengan bilangan Reynolds untuk <i>fin</i> bertingkat	7
Gambar 2.4 Grafik perbandingan ketahanan termal ketiga jenis heatsink.....	7
Gambar 2.5 Grafik Penurunan Suhu Kabin oleh Pendingin Arus Searah.....	8
Gambar 2.6 Susunan Termoelektrik	9
Gambar 2.7 Rangkaian efek Seebeck.....	10
Gambar 2.8 Efek Peltier.....	11
Gambar 2.9 Skema aliran elektron.....	12
Gambar 2.10 Modul Termoelektrik	20
Gambar 2.11 Heatsink Tipe <i>Extrude</i>	21
Gambar 2.12 Heatsink Tipe <i>Slot</i>	21
Gambar 2.13 Heatsink Tipe <i>Double-slot</i>	22
Gambar 3.1 Heatsink Tipe <i>Extrude</i>	24
Gambar 3.2 Heatsink Tipe <i>Slot</i>	24
Gambar 3.3 Heatsink Tipe <i>Double-slot</i>	24
Gambar 3.4 Skema Rangkaian <i>Mini Refrigerator Portable</i>	26
Gambar 3.5 Titik pengukuran temperatur	27
Gambar 3.6 Dimensi <i>cool box</i> isometri.....	27
Gambar 3.7 Dimensi <i>cool box</i> tampak atas.....	28
Gambar 3.8 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 4.1 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 0,5 m/s menggunakan <i>heatsink extrude</i>	35
Gambar 4.2 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 0,5 m/s menggunakan <i>heatsink slot</i>	36

Gambar 4.3 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 0,5 m/s menggunakan <i>heatsink double-slot</i>	36
Gambar 4.4 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,0 m/s menggunakan <i>heatsink extrude</i>	37
Gambar 4.5 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,0 m/s menggunakan <i>heatsink slot</i>	38
Gambar 4.6 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,0 m/s menggunakan <i>heatsink double-slot</i>	39
Gambar 4.7 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,5 m/s menggunakan <i>heatsink extrude</i>	40
Gambar 4.8 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,5 m/s menggunakan <i>heatsink slot</i>	40
Gambar 4.9 Grafik kemampuan pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,5 m/s menggunakan <i>heatsink double-slot</i>	41
Gambar 4.10 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 0,5 m/s menggunakan <i>heatsink extrude</i>	42
Gambar 4.11 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 0,5 m/s menggunakan <i>heatsink slot</i>	43
Gambar 4.12 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 0,5 m/s menggunakan <i>heatsink double-slot</i>	44
Gambar 4.13 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,0 m/s menggunakan <i>heatsink extrude</i>	44
Gambar 4.14 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,0 m/s menggunakan <i>heatsink slot</i>	45
Gambar 4.15 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,0 m/s menggunakan <i>heatsink double-slot</i>	46
Gambar 4.16 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,5 m/s menggunakan <i>heatsink extrude</i>	46
Gambar 4.17 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,5 m/s menggunakan <i>heatsink slot</i>	47

Gambar 4.18 Grafik penyebaran pendinginan TEC dengan kecepatan fluida 1,5 m/s menggunakan <i>heatsink double-slot</i>	48
Gambar 4.19 Grafik perbandingan beban pendinginan TEC kecepatan fluida 0,5 m/s; 1,0 m/s dan 1,5 m/s	54
Gambar 4.20 Grafik perbandingan nilai COP TER pada kecepatan 0,5 m/s	55
Gambar 4.21 Grafik perbandingan nilai COP TER pada kecepatan 1,0 m/s	56
Gambar 4.22 Grafik perbandingan nilai COP TER pada kecepatan 1,5 m/s	56
Gambar 4.23 Grafik perbandingan nilai COP TER pada kecepatan 0,5 m/s	57
Gambar 4.24 Grafik perbandingan nilai COP TER pada kecepatan 1,0 m/s	57
Gambar 4.25 Grafik perbandingan nilai COP TER pada kecepatan 1,5 m/s	58
Gambar 4.26 Grafik perbandingan nilai efisiensi pendinginan sistem TER dengan mengabaikan daya kipas	60
Gambar 4.27 Grafik perbandingan nilai efisiensi pendinginan sistem TER dengan memperhitungkan daya kipas	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai Kalor Jenis Menurut Jenis Zatnya.....	18
Tabel 2.2 Spesifikasi TEC 1-12705	20
Tabel 3.1 Tabel pengambilan Data	31
Tabel 4.1 Data hasil penelitian TEC kecepatan fluida 0,5 m/s	32
Tabel 4.2 Data hasil penelitian TEC kecepatan fluida 1,0 m/s	33
Tabel 4.3 Data hasil penelitian TEC kecepatan fluida 1,5 m/s	34
Tabel 4.4 Beban kalor dinding	50
Tabel 4.5 Beban kalor aluminium.....	51
Tabel 4.6 Beban kalor udara	52
Tabel 4.7 Total beban pendingin pada <i>Thermoelectric Refrigerator</i> kecepatan aliran fluida sebesar 0,5 m/s.....	51
Tabel 4.8 Total beban pendingin pada <i>Thermoelectric Refrigerator</i> kecepatan aliran fluida sebesar 1,0 m/s.....	51
Tabel 4.9 Total beban pendingin pada <i>Thermoelectric Refrigerator</i> kecepatan aliran fluida sebesar 1,5 m/s.....	54
Tabel 4.10 Nilai efisiensi pendinginan sistem TER dengan mengabaikan daya kipas	59
Tabel 4.11 Nilai efisiensi pendinginan sistem TER dengan memperhitungkan daya kipas	60

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyimpanan obat adalah suatu kegiatan menjaga dan memelihara dengan cara menempatkan obat-obatan yang diterima pada tempat yang terhindar dari kerusakan fisik maupun kimia dan mutunya tetap terjamin. Obat yang tidak disimpan dengan baik akan mudah rusak, berkurang atau hilang khasiatnya, serta yang paling mengkhawatirkan yaitu akan menjadi toksik atau racun bagi yang menggunakannya. Menyimpan obat yang benar akan menjaga kualitas obat tersebut. “Salah satu petunjuk penyimpanan obat adalah disimpan pada suhu tertentu. Kebanyakan obat disimpan pada tempat sejuk dan kering yang terhindar dari sumber panas yaitu pada suhu kamar 15-30 °C. Jenis obat tertentu harus disimpan pada suhu tertentu pula, misalnya harus disimpan di lemari pendingin dengan suhu sekitar 8-15 °C. Hal ini karena suhu yang diperlukan untuk obat tersebut harus sejuk di bawah suhu kamar tetapi tidak boleh disimpan didalam *freezer*” (Karlida, 2017). Contoh beberapa obat yang harus disimpan dalam lemari pendingin adalah vaksin, suppositoria, anti-tetanus serum dan anti-bisa ular.

Seiring perkembangan teknologi, mesin pendingin menjadi semakin beragam, baik dari segi kapasitas, ukuran, instalasi dan jenis pendingin yang dipakai. Mesin pendingin yang berbentuk sederhana atau *portable mini refrigerator* bisa menjadi solusi jika ingin menyimpan obat-obat tertentu yang membutuhkan suhu dingin untuk menjaga mutu dan kualitas obat tersebut.

Untuk membantu program ramah lingkungan atau *green energy*, perlu dibuat suatu *portable mini refrigerator* (mesin pendingin mini) yang menggunakan sumber listrik arus searah. Hal ini dapat diperoleh dengan memanfaatkan sebuah modul *thermoelectric* dan *heatsink* yang menggantikan peran kompresor sebagai mesin pemindah panas. Pendingin *thermoelectric* atau pendingin Peltier merupakan pendingin yang ramah lingkungan karena tidak memerlukan *refrigerant* seperti pendingin pada umumnya. Prinsip utamanya adalah memindahkan panas dari satu sisi ke sisi lain ketika dilewati arus searah. Hal ini membuka peluang bagi pemanfaatan energi yang *portable* dengan

menggunakan elemen *thermoelectric*. “Sebuah *thermoelectric* biasanya akan menghasilkan perbedaan suhu maksimal 70 °C antara sisi panas dan dinginnya. Apabila *thermoelectric* semakin panas maka akan semakin kurang efisiensinya. Karena *thermoelectric* perlu untuk mengurangi atau menghilangkan panas yang ditimbulkan dari proses pendinginan maupun dari panas yang dihasilkan oleh daya listrik yang diumpangkan. Jumlah panas yang ditimbulkan sebanding dengan arus dan waktu” (Santosa, 2015).

Mesin pendingin dengan *thermoelectric* merupakan komponen elektronik yang menghasilkan panas yang umumnya dipasang *heatsink* sebagai elemen pelepas panas. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Poetro, et al., (2013) menyatakan sistem pendingin arus searah memiliki kinerja yang lebih baik bila menggunakan *heatsink* jenis *extrude* daripada menggunakan *heatsink* jenis *slot*. Pada pengujian tersebut menggunakan *heatsink* yang mempunyai dimensi panjang 12 cm dan lebar 8 cm. Tinggi sirip 40 mm dan jarak antar sirip 9 mm. Hasilnya, pada pendingin arus searah yang menggunakan *heatsink* jenis *slot* terjadi penurunan kinerja sebesar 7,32 % bila dibandingkan dengan kinerja pendingin arus searah yang menggunakan *heatsink extrude*. Soodphakdee, et al., (2001) meneliti kinerja perpindahan kalor *heatsink* menggunakan geometri *fin* (sirip) yang umum digunakan (bentuk lingkaran, elips dan kotak) juga plat sirip dengan pengaturan bertingkat dan *inline* (segaris). Dimensi *heatsink* ini memiliki celah sirip kurang lebih 1,5 mm, ketinggian 50 mm, dan panjang 90 mm. Mereka menyimpulkan bahwa, geometri bertingkat memiliki performa, *pressure drop* (penurunan tekanan) dan daya pemompaan lebih baik dari *inline*. Pada nilai yang lebih tinggi, geometri *circle fin* (sirip bulat) memberikan nilai kinerja tertinggi. Yunianto (2008), melakukan perbandingan *heatsink* jenis *extuded* dengan kecepatan aliran fluida dari blower yang berbeda yaitu 2 m/s; 3 m/s; 4 m/s; 5 m/s; dan 6 m/s. Menyimpulkan bahwa perpindahan konveksi paling besar pada kecepatan 6 m/s sebesar 59,6 W/m² °C.

Pada penelitian ini dimaksud mempelajari lebih lanjut tentang media perpindahan panas *thermoelectric* (*heatsink*) dan kecepatan aliran fluida. Melihat dari penelitian sebelumnya, perbandingan performa kerja dari dua jenis *heatsink*,

maka perlu dilakukan pengembangan berupa penambahan variasi tipe *heatsink*. Sehingga dapat dibandingkan performa kerja yang didapat antara satu tipe *heatsink* dengan tipe lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dingin dalam kotak dan jenis *heatsink* terhadap unjuk kerja *portable mini refrigerator*.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian alat ini, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi tipe *heatsink* panas terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) dari *Thermoelectric Cooler* (TEC)?
2. Bagaimana pengaruh variasi aliran fluida pada *fan* terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) dari *Thermoelectric Cooler* (TEC)?
3. Bagaimana pengaruh tipe *heatsink* terminal panas terhadap efisiensi pendinginan sistem pada kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER)?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi tipe *heatsink* terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) dari *Thermoelectric Cooler* (TEC).
2. Mengetahui pengaruh variasi aliran fluida pada *fan* terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) dari *Thermoelectric Cooler* (TEC).
3. Mengetahui efisiensi pendinginan sistem pada kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER) menggunakan tipe *heatsink* dan variasi kecepatan aliran fluida yang berbeda.

1.3.2 Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan mengenai *thermoelectric* sebagai pendingin.
2. Sebagai informasi pembuatan *portable mini refrigerator* dengan variasi tipe *heatsink* dan variasi aliran fluida pada *fan*.

3. Menambah pengetahuan mengenai mesin *portable mini refrigerator* sebagai alat penyimpan vaksin.
4. Menambah informasi mengenai pengaruh tipe *heatsink* dan aliran fluida pada *fan* terhadap *Coefficient of Performance* (COP) modul *thermoelectric*.
5. Menambah informasi mengenai pengaruh suhu pada *heatsink* ketika *thermoelectric* dialiri listrik.
6. Menambah informasi mengenai jumlah energi yang digunakan pada *thermoelectric cooling*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam proses pengambilan data terdapat beberapa faktor yang tidak dapat terkontrol. Untuk itu dalam penelitian ini akan diberikan batasan dan asumsi untuk mempermudah menganalisa data dalam penelitian yaitu:

1. Sistem terisolasi sempurna.
2. Temperatur dinding kotak pendingin dianggap sama.
3. Temperatur dinding kotak pendingin dianggap sama.
4. Suhu pada lingkungan dianggap sama 28 °C.
5. Suhu dan tegangan listrik pada *thermoelectric* menggunakan hasil rata-rata.
6. Daya dan kecepatan putaran kipas dianggap tetap.

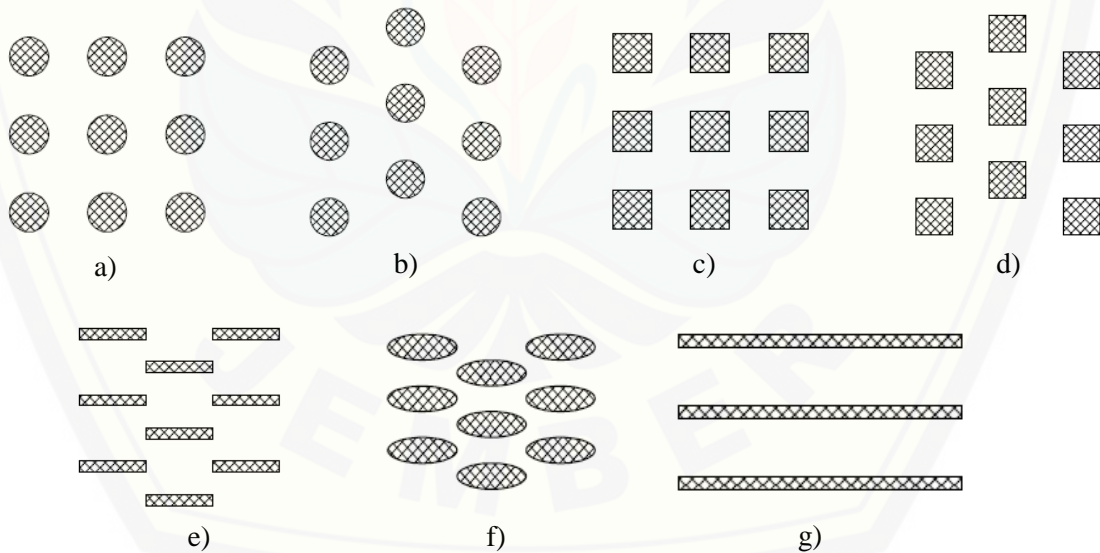
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian – penelitian terdahulu mengenai perpindahan panas *Thermoelectric Cooler* (TEC) telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut.

2.1.1 A Comparison of Fin Geometries for Heatsink in Laminar Forced Convection: Part I - Round, Elliptical, and Plate Fins in Staggered and Inline Configurations

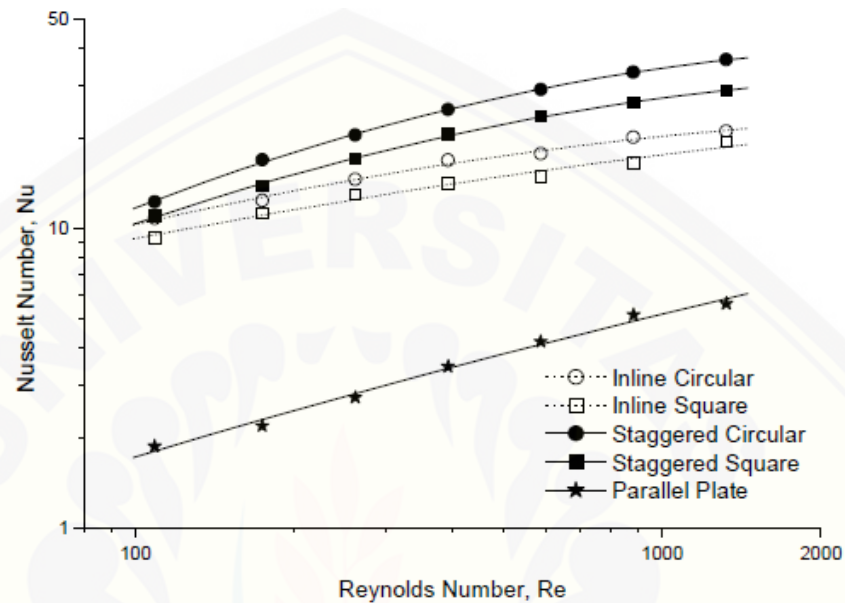
Penelitian ini dilakukan oleh Denpong Soodphakdee, et al., (2001) mempelajari kinerja perpindahan kalor *heatsink* dengan geometri *fin* yang umum digunakan juga plat sirip dengan pengaturan bertingkat dan *inline* (segaris). Bentuk dari geometri sirip *heatsink* dapat dilihat pada Gambar 2.1



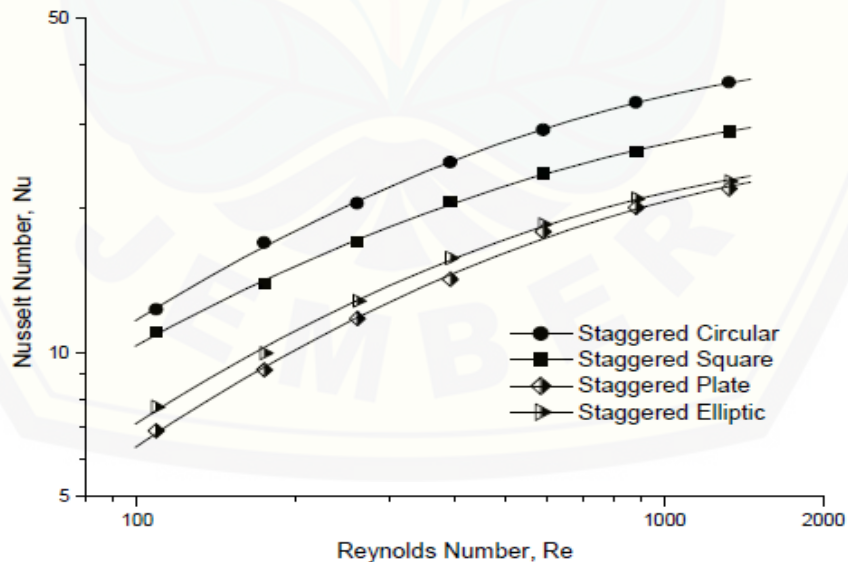
(a) Lingkaran Segaris; (b) lingkaran Bertingkat; (c) Persegi Segaris; (d) Persegi Bertingkat; (e) Plat Bertingkat; (f) Elips Bertingkat; (g) Plat Paralel

Gambar 2.1 Diagram skematik *heatsink* (sumber: Shoodphakdee, et al., 2001)

Untuk setiap geometri, tujuh simulasi dilakukan dengan memvariasikan laju aliran udara. Untuk memperjelas, hasil pengujian dikelompokkan menjadi dua grafik. Geometri *inline* dan bertingkat dibandingkan pada Gambar 2.2, dan berbagai sirip yang bertingkat dibandingkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.2 Grafik hubungan antara bilangan Nusselt dengan bilangan Reynolds untuk berbagai geometri *fin* (sumber: Shoodphakdee, et al., 2001)

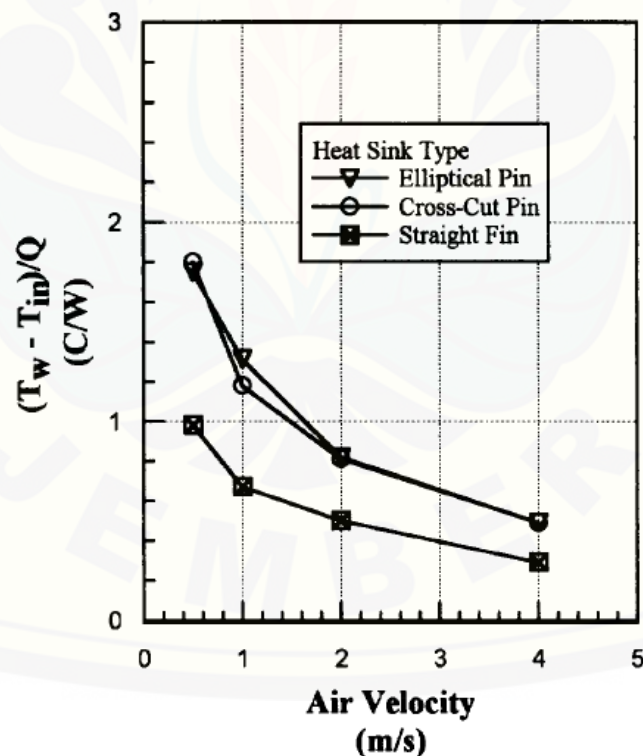


Gambar 2.3 Grafik hubungan antara bilangan Nusselt dengan bilangan Reynolds untuk *fin* bertingkat (sumber: Shoodphakdee, et al., 2001)

Dari kedua grafik, dapat dilihat bahwa bentuk sirip melingkar bertingkat menghasilkan bilangan Nusselt tertinggi di semua bilangan Reynolds dalam percobaan ini. Bilangan Nusselt yang paling rendah adalah bentuk plat paralel dan susunan plat bertingkat. Secara umum, disimpulkan bahwa bentuk geometri bulat lebih unggul dari bentuk sirip kotak/bersudut. Keseluruhannya, geometri bertingkat memiliki kinerja lebih baik daripada *inline*.

2.1.2 Thermal Performance of an Elliptical Pin Fin Heatsink

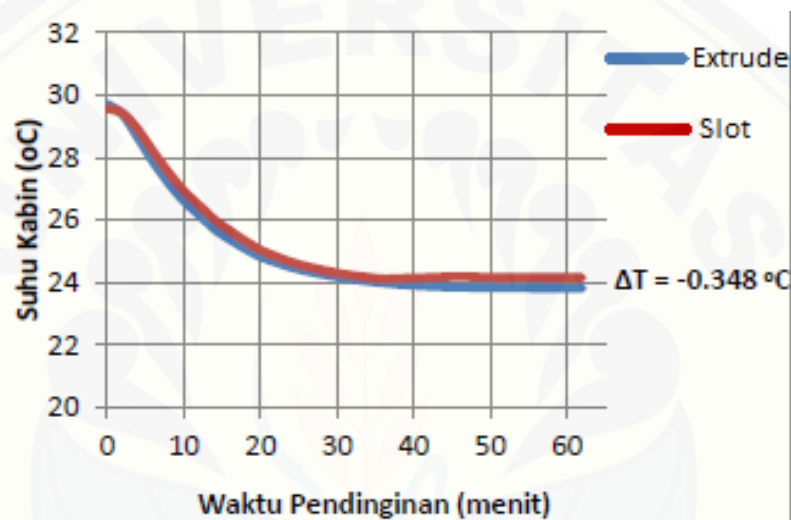
Penelitian ini dilakukan oleh Chapman, et al., (1994) mempelajari kinerja thermal dari *heatsink* sirip elips, sirip *cross-cut*, dan sirip lurus. Hasilnya didapatkan bahwa *heatsink* jenis elips dan *cross-cut* memiliki ketahanan termal yang lebih baik daripada jenis pin lurus. Grafik hubungan antara ketahanan termal dan kecepatan udara dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Grafik perbandingan ketahanan termal ketiga jenis *heatsink* (sumber: Chapman, et al., 1994)

2.1.3 The Performance Analysis of The Refrigerated Cooling System Using Heatsink Extruded Types Compared with Heatsink Slot Types

Pada percobaan yang dilakukan Poetro, et al., (2013) didesain sistem pendingin dengan sumber arus listrik searah menggunakan *thermoelectric* dan *heatsink*. Ada dua tipe *heatsink* yang dipakai, yakni tipe *extruded heatsink* dan tipe *slot*. Grafik hubungan antara waktu pendinginan dengan suhu kabin untuk dua jenis *heatsink* dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Grafik Penurunan Suhu Kabin oleh Pendingin Arus Searah (sumber: Poetro, et al., 2013)

Dari Gambar 2.5 dapat dilihat bahwa pendingin arus searah prototipe yang memakai *heatsink* jenis *slot* menghasilkan suhu kabin rata-rata yang lebih tinggi ($\Delta T = -0.348$ °C) apabila dibandingkan dengan pendingin arus searah awal yang memakai *heatsink extrude*. Grafik di atas menunjukkan bahwa prototipe pendingin arus searah dengan *heatsink slot* ternyata mempunyai kinerja yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kinerja pendingin arus searah dengan *heatsink extrude*.

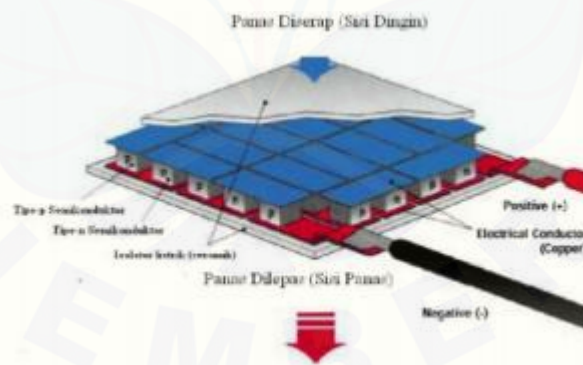
2.2 Konsep Dasar

Thermoelectric Cooler (TEC) atau sel *Peltier* merupakan alat yang berfungsi untuk merubah arus listrik menjadi suhu. Pada penelitian ini TEC akan

digunakan sebagai media pendingin pada kotak pendingin (*Thermoelectric Refrigerator/TER*) dengan tujuan sebagai alat *portable mini refrigerator* peyimpan vaksin. Sumber energi TEC adalah arus listrik DC, sehingga *portable mini refrigerator* berbasis TEC sebagai media pendingin dapat digunakan untuk menyimpan vaksin di daerah - daerah yang tidak terjangkau oleh arus listrik AC seperti daerah terpencil atau daerah yang terkena bencana alam yang membutuhkan pertolongan medis seperti vaksin.

2.3 Thermoelectric

Modul *thermoelectric* merupakan sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, Peltier dan Thompson. Konstruksi *thermoelectric* terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya jika arus listrik digunakan biasanya diaplikasikan sebagai sistem pendingin. Hal ini didasarkan pada efek Peltier (Nandy, et al., 2007).



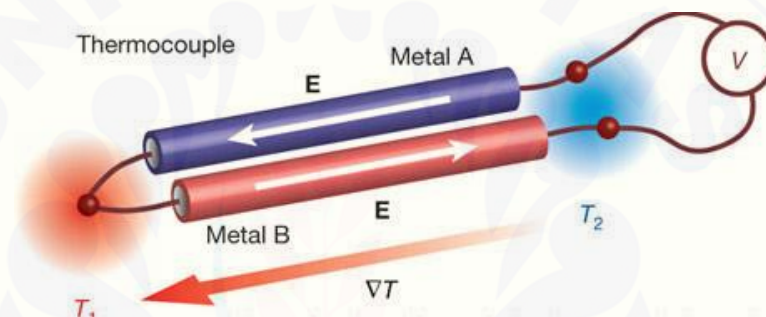
Gambar 2.6 Susunan *Thermoelectric* (sumber: Poetro, 2010)

Elemen peltier memiliki peranan yang paling vital, sebagai pompa kalor yang merupakan elemen utama sistem pendingin arus searah. *Thermoelectric* merupakan kom-ponen semikonduktor Bismut Telluride yang dapat menghasilkan efek dingin dan panas. Jika sebuah elemen peltier dialiri arus listrik DC maka

kedua sisi elemen ini akan menjadi panas dan dingin. Sisi dingin inilah yang dimanfaatkan sebagai pendingin ruangan dengan bantuan *heatsink* dan *fan*.

2.3.1 Efek Seebeck

Efek Seebeck ditemukan oleh T.J. Seebeck (1821). Jika dua logam konduktor berbeda (A dan B) dan masing-masing ujungnya disatukan dalam temperatur yang berbeda, maka arus listrik akan mengalir dari logam yang lebih positif ke logam satunya. Jika logam A lebih positif (+) terhadap logam B, maka arus akan mengalir melalui T1. Proses mengalirnya arus listrik dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Rangkaian efek Seebeck (sumber: Harsono, 2015)

Dalam aplikasinya, efek Seebeck biasa digunakan dalam alat yang disebut termokopel (karena dibuat dari persimpangan coupling dan biasanya bahan logam) dengan tujuan mengukur perbedaan temperatur langsung atau temperatur mutlak. Dalam efek Seebeck terdapat gaya gerak listrik yang menghasilkan arus listrik. Gaya gerak listrik tersebut dikenal dengan GGL termal Seebeck. Hubungan temperatur dan GGL termal Seebeck dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$E_s = \alpha_{pn} (T_1 - T_2) \quad (2.1)$$

Dimana:

E_s = GGL termal Seebeck (V)

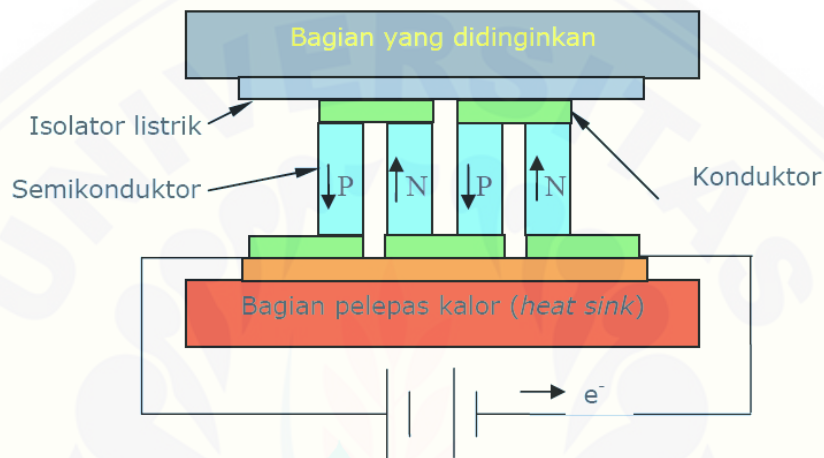
α_{pn} = Koefisien Seebeck (V/K)

T_1 = Temperatur sisi panas (K)

T_2 = Temperatur sisi dingin (K)

2.3.2 Efek Peltier

Efek Peltier ditemukan oleh Jean Peltier (1834). Jika arus listrik dialirkan pada dua logam konduktor berbeda, maka akan terjadi perbedaan temperatur dikedua ujungnya. Perbedaan temperatur terjadi akibat dari panas yang dilepas pada salah satu ujung dan akan diserap oleh ujung lainnya. Proses terjadinya efek peltier dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Efek peltier (sumber: Nandy, 2007)

Besarnya nilai efek peltier yang terjadi pada terminal dingin atau terminal panas elemen *thermoelectric* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_c \text{ atau } Q_h = \alpha_{pn} T I \quad (2.2)$$

Dimana:

Q_c = Panas pada terminal dingin (W)

Q_h = Panas pada terminal panas (W)

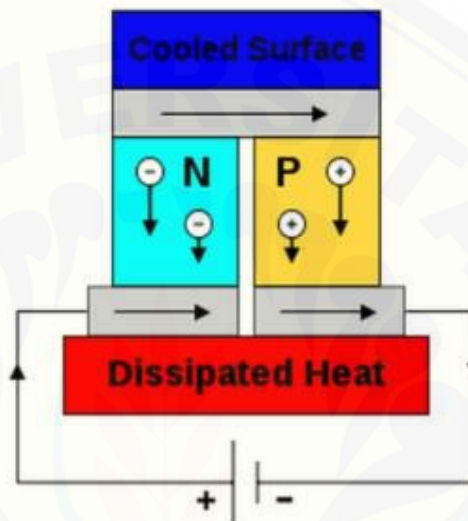
α_{pn} = Koefisien Seebeck (V/K)

T = Temperatur (K)

I = Arus listrik (A)

2.4 Prinsip Kerja *Thermoelectric*

Prinsip kerja mesin pendingin *thermoelectric* adalah menyerap panas di dalam kotak pendingin melalui terminal dingin dan dibuang pada terminal panas elemen *thermoelectric*. Penyerapan dan pembuangan panas terjadi akibat arus listrik DC yang mengalir ke beberapa pasang sel semikonduktor tipe-p (energi rendah) dan tipe-n (energi tinggi). Perpindahan elektron dari energi tinggi menuju energi rendah dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Skema aliran elektron (sumber: Poetro, et al., 2013)

Perbedaan temperatur pada sisi terminal dingin dan terminal panas elemen *thermoelectric* terjadi akibat pergerakan elektron yang mengalir dari semikonduktor pada tipe-p yang kekurangan energi dengan menyerap kalor untuk menambah energi pada sisi dingin. Pergerakan elektron ditunjukkan dengan mengalirnya elektron ke tipe-n. Ketika semikonduktor tipe-n kelebihan elektron, maka elektron akan dibuang ke udara lingkungan dalam bentuk panas dan selanjutnya bergerak ke semikonduktor tipe-p begitulah seterusnya.

Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin dan dilepas pada sisi panas bergantung pada koefisien *thermoelectric* dan arus listrik yang digunakan. Pada saat dioperasikan jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin akan berkurang dikarenakan dua faktor, yaitu kalor yang terbentuk pada material semikonduktor dikarenakan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas

elemen (*conducted heat*) dan *joule heat* yang nilainya akan sama dengan kuadrat dari arus listrik yang digunakan. Sehingga pada kondisi apapun kesetimbangan termal yang terjadi karena efek peltier pada sisi dingin akan sama dengan jumlah kalor yang terbentuk pada semikonduktor.

Dalam penelitian ini, dingin dari hasil pergerakan elektron dapat digunakan untuk meningkatkan nilai *Coefficient of Performance* (COP). Penggunaan pelat aluminium di terminal dingin sangat diperlukan agar luasan yang dapat menyimpan temperatur rendah menjadi bertambah. Selain itu, penambahan *heatsink* di terminal panas sangat diperlukan untuk mengurangi perpindahan panas konduksi dari terminal panas ke terminal dingin. Penambahan *heatsink* akan mempengaruhi temperatur di dalam kotak pendingin. Semakin rendah temperatur di terminal panas maka semakin rendah pula temperatur di dalam kotak pendingin sehingga nilai COP dan efisiensi sistem semakin naik.

2.4.1 *Figur of Merit* (Z)

Figur of Merit (Z) merupakan parameter gabungan dari tiga jenis sifat pada *thermoelectric* dan sangat berpengaruh besar terhadap pendinginan yang terjadi. Tiga jenis sifat itu adalah:

- a. Konduktivitas listrik yang tinggi agar dapat meminimalkan *joule heating* saat *thermoelectric* dioperasikan.
- b. Koefisien Seebeck yang besar untuk perubahan maksimal dari panas ke daya listrik atau daya listrik ke kinerja dingin.
- c. Konduktivitas panas yang rendah untuk mencegah konduksi panas melalui bahan.

Pendinginan *thermoelectric* sangat dipengaruhi oleh nilai Z. Semakin tinggi nilai Z maka nilai ΔT akan tinggi pula. Selain itu, nilai Z dapat menunjukkan kualitas dari elemen *thermoelectric*. Nilai Z yang tinggi dapat menunjukkan kualitas bahan *thermoelectric* yang dimiliki sangat baik. Dilihat dari segi kebutuhan temperatur yang digunakan, bahan *thermoelectric* memiliki tiga jenis yaitu: Bismuth Telluride (Bi_2Te_3), Lead Telluride (PbTe), dan perpaduan Silicon-

Germanium (SiGe). Bi_2Te_3 beserta campurannya telah digunakan secara umum dalam aplikasi *Thermoelectric Cooling* dan beberapa pembangkit listrik rendah dengan rentang temperatur 180 K- 450 K. Untuk bahan PbTe dan SiGe banyak digunakan untuk rentang temperatur yang tinggi. PbTe memiliki rentang temperatur dari 500 K – 900 K, sedangkan SiGe memiliki rentang temperatur 800 K – 1300 K.

Menurut Oktorina (2006) nilai Z dapat dicari dengan persamaan 2.3 dan 2.4.

$$\Delta T_{max} = 0,5 Z T_2^2 \quad (2.3)$$

$$Z = \frac{\Delta T_{max}}{0,5 T_2^2} \quad (2.4)$$

Dimana:

Z = Figur of merit (K)

T_2 = Temperatur terminal dingin (K)

$\Delta T_{max} = 70 \text{ }^\circ\text{C} = 343 \text{ K}$

2.4.2 Konduktivitas Panas Diantara Dua Sambungan *Thermoelectric* (U)

Proses perpindahan panas tergantung pada perbedaan temperatur (ΔT) dan konduktivitas jenis. Menurut hukum Wiedemann-Franz, nilai konduktivitas panas semakin tinggi atau meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan rata-rata partikel dalam perpindahan energi. Menurut Oktorina (2006) nilai konduktivitas panas dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q^o_{max} = U(0,5 Z T_2^2 - (T_1 - T_2)) \quad (2.5)$$

$$U = \frac{Q^o_{max}}{0,5 Z T_2^2 - (T_1 - T_2)} \quad (2.6)$$

Dimana:

Q^o_{max} = Kapasitas pendinginan maksimum elemen peltier (54 W)

Z = Figure of merit (K)

T_2 = Temperatur terminal dingin (K).

T_1 = Temperatur terminal panas (K)

2.4.3 Koefisien Seebeck Bahan (α_{pn})

Koefisien Seebeck berpengaruh terhadap karakteristik bahan modul yang digunakan. Menurut Oktorina (2006) nilai koefisien Seebeck dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\alpha_{pn} = \frac{\sqrt{Z x U x R}}{n^2} \quad (2.7)$$

Dimana:

α_{pn} = Koefisien Seebeck Bahan

n = Jumlah pasang kaki semi konduktor (127 pasang)

R = Hambatan alat (2,25 Ω)

2.4.4 Coefficient of Performance (COP)

Coefficient of Performance (COP) merupakan nilai dari sistem pendinginan *thermoelectric*. Nilai ini dapat menunjukkan tingkat kualitas dari sistem pendinginan thermoelektrik. Nilai COP yang tinggi menunjukkan bahwa kualitas dari pendinginan sangat baik atau tinggi, sebaliknya COP yang rendah akan menunjukan kualitas yang kurang baik dalam sistem pendinginan. Menurut Rawat (2013) COP dapat dihitung dengan persamaan 2.8, 2.9, dan 2.10 sebagai berikut.

- a. Panas yang Terjadi pada Terminal Dingin

$$Q_c = n \alpha_{pn} T_2 I - U(T_1 - T_2) - \frac{1}{2} I^2 R \quad (2.8)$$

- b. Daya yang diperlukan

$$W = n \alpha_{pn} (T_1 - T_2) I + I^2 R \quad (2.9)$$

- c. COP yang dihasilkan

$$COP = \frac{Q_c}{W} \quad (2.10)$$

2.5 Perpindahan Kalor

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur diantara benda atau material. Energi yang berpindah dinamakan kalor atau panas. Pada sistem pendingin *thermoelectric* peristiwa perpindahan panas yang terjadi dengan cara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas konduksi terjadi pada *heatsink* sisi panas peltier dan pada *heatsink* sisi dingin peltier. Sementara perpindahan panas konveksi terjadi pada udara yang melewati *heatsink*, dan udara dalam ruangan atau alat uji (Poetro, et al., 2013).

2.5.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan kalor atau panas karena getaran dan tabrakan molekul dan elektron bebas. Molekul pada titik yang memiliki suhu tinggi bergetar lebih cepat dibandingkan dengan molekul pada titik suhu yang lebih rendah. Molekul-molekul dengan gerakan yang lebih tinggi bertabrakan dengan molekul yang memiliki energi rendah atau molekul yang berada pada temperatur yang lebih rendah. Proses perpindahan panas konduksi terjadi tanpa diikuti oleh perpindahan molekul benda tersebut.

Persamaan yang digunakan pada perpindahan panas konduksi disebut dengan Hukum Fourier, sehingga:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.11)$$

Dengan:

q = Laju perpindahan panas (J)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m^2)

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = Gradien suhu ke arah perpindahan kalor

k = Konduktivitas thermal bahan ($W/m \text{ } ^\circ C$)

2.5.2 Faktor Bentuk Konduksi

Faktor bentuk konduksi merupakan suatu besaran yang digunakan dalam mengoreksi perpindahan kalor konduksi pada media atau bahan dengan bentuk

geometri tertentu. Dalam sistem tiga dimensi, mempunyai faktor bentuk yang berbeda-beda untuk menghitung aliran kalor di bagian-bagian sudut dan tepi. Menurut Holman (2010) Jika semua dimensi dalam lebih besar dari seperlima tebal dinding maka didapat persamaan sebagai berikut.

$$S_{dinding} = \frac{A}{d} \quad (2.12)$$

$$S_{tepi} = 0,54 (p + l + t) \quad (2.13)$$

$$S_{sudut} = 0,15 d \quad (2.14)$$

$$q_d = k S_{total} (T_4 - T_3) \quad (2.15)$$

Dengan:

q_d = Laju perpindahan panas konduksi (J)

A = Luas dinding (m^2)

d = Tebal dinding (m)

k = Konduktivitas polyurethane (0.02 W/m K)

$T_4 - T_3$ = Perbedaan temperatur dinding (K)

p = Panjang kotak pendingin (m)

l = Lebar kotak pendingin (m)

t = Tinggi kotak pendingin (m)

2.6 Beban Pendinginan

Beban pendinginan merupakan panas yang ada di dalam ruangan yang harus dipindahkan keluar ruangan dengan tujuan menurunkan temperatur di dalam ruangan. Pada penelitian ini, beban pendinginan yang terjadi meliputi: beban pendinginan udara, beban pendinginan faktor bentuk konduksi, dan beban pendinginan *heatsink* terminal dingin *thermoelectric*. Beban pendinginan udara adalah beban yang terjadi di dalam kotak pendinginan yang dihitung dari temperatur 28 °C sampai temperatur yang diperoleh pada dasar kotak pendingin (T_1). Perhitungan beban pendinginan faktor bentuk bertujuan untuk mengetahui kalor pada dinding kotak pendingin. Sedangkan perhitungan beban pendinginan *heatsink* terminal dingin bertujuan untuk mengetahui nilai kalor yang terjadi dari

temperatur 28 °C sampai temperatur yang terjadi di dalam kotak pendingin (T_1). Dalam mencari nilai beban pendinginan dapat menggunakan Tabel 2.1 dan persamaan berikut (Holman, 2010).

$$Q_b = m C \Delta T \quad (2.16)$$

Dimana:

m = Massa (kg)

C = Kalor jenis (J/kg K)

ΔT = Perubahan temperatur (K)

Tabel 2.1 Nilai Kalor Jenis Menurut Jenis Zatnya

Zat	Kalor Jenis (J/kg K)
Air	4200
Air Laut	3900
Alkohol	230
Minyak Tanah	220
Raksa	140
Es	2500
Alumunium	900
Kaca	670
Besi	460
Tembaga	390
Kuningan	380
Perak	230
Emas	130
Timbal	130

(Sumber : Harsono, 2015)

2.7 Daya Listrik

Daya listrik merupakan jumlah energi listrik yang mengalir dalam setiap satuan waktu (detik). Dalam penelitian ini, daya listrik merupakan faktor yang sangat berpengaruh besar terhadap nilai efisiensi sistem pendinginan. Besarnya

daya listrik yang digunakan dapat diketahui dengan mengukur arus dan tegangan saat elemen *thermoelectric* bekerja. Daya listrik dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut (Harsono, 2015).

$$P = V I \quad (2.16)$$

Dengan:

P = Daya listrik (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

2.8 Efisiensi Sistem Pendinginan

Efisiensi pendinginan sistem merupakan perbandingan jumlah kalor yang bekerja seluruhnya terhadap kalor yang masuk pada suatu sistem yang pada penelitian ini berupa daya listrik. Efisiensi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti: faktor bentuk, beban pendinginan plat dingin, dan beban pendinginan udara. Dalam mencari nilai efisiensi yang dihasilkan dari suatu sistem pendinginan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Harsono, 2015).

$$\eta = \frac{q_{total}}{P} \times 100\% \quad (2.17)$$

Dengan:

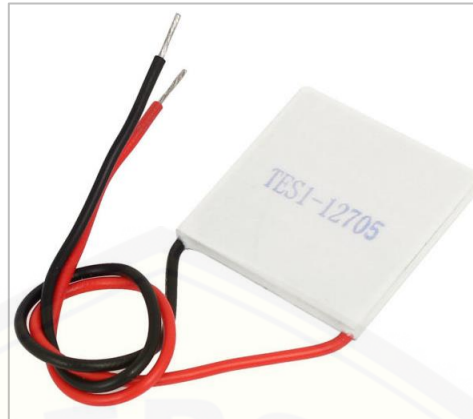
η = Efisiensi pendinginan (%)

q_{total} = Jumlah kalor total (W)

P = Daya listrik (W)

2.9 Modul *Thermoelectric*

Dalam penelitian ini, modul *thermoelectric* yang digunakan adalah jenis TEC 1 -12705 merk Shenzhen seperti gambar 2.10 dan spesifikasi pada tabel 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.10 Modul *thermoelectric* (sumber: Everredtronics, 2006)

Tabel 2.2 Spesifikasi TEC 1-12705

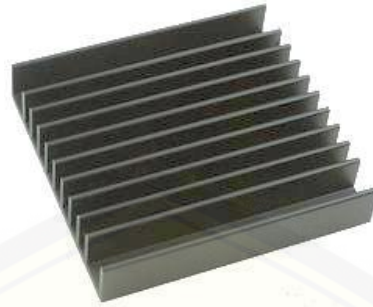
No	Model NO.: TEC – 12705
1	Size = (40 x 40 x 3.7) mm
2	$I_{\max} = 5,0 \text{ A}$
3	$V_{\max} = 15 \text{ V}$
4	$Q_{\max} = 54,1 \text{ watt } (\Delta T=0)$
5	$\Delta T_{\max} = 70^{\circ} \text{ C}$
6	$R = 2,25 \Omega$
7	$n = 127 \text{ pasang}$

(Sumber: Everredtronics, 2006)

2.10 Heatsink

Heatsink adalah bahan atau material penyerap panas dan pelepas panas yang terbuat dari bahan dengan nilai konduktivitas tinggi. *Heatsink* memiliki berbagai macam jenis *profile* atau bentuk. Beberapa contoh bentuk *heatsink* adalah sebagai berikut:

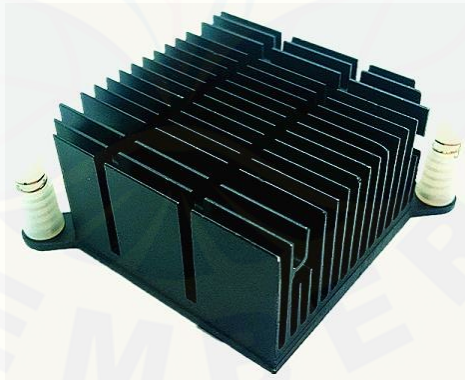
2.10.1 *Heatsink Extruded*



Gambar 2.11 Bentuk *heatsink extruded* (sumber: Wakefield, 2009)

Bentuk ini memiliki *fin* pada satu permukaan saja. *Heatsink* bentuk ini biasa digunakan untuk pendinginan horizontal tetapi kadang digunakan untuk pendinginan secara vertikal. Nilai konduktivitas bentuk ini merupakan yang terbaik dari jenis lainnya karena sering digunakan untuk mendinginkan alat atau komponen secara konveksi paksa.

2.10.2 *Heatsink Slot*



Gambar 2.12 Bentuk *heatsink slot* (sumber: Wakefield, 2009)

Bentuk ini hampir sama dengan *extrude* hanya saja bentuk ini memiliki celah di tiap sirip (*fin*) yang tersusun teratur untuk memudahkan aliran udara lewat. *Heatsink* berbentuk *slot* juga biasa digunakan untuk pendingin komponen elektronik seperti: IC, dioda, regulator, dan lain-lain.

2.10.3 *Heatsink Double-slot*



Gambar 2.13 Bentuk *heatsink slot* (sumber: Wakefield, 2009)

Bentuk *heatsink double-slot* hampir sama dengan *slot* hanya saja bentuk ini memiliki celah yang dua kali lebih banyak pada bagian sirip. *Heatsink* ini juga biasa digunakan untuk pendingin komponen elektronik seperti: IC, dioda, regulator, dan lain-lain.

2.11 Hipotesis

Hipotesis awal dari penelitian ini adalah penambahan slot pada *heatsink* terminal panas sebagai media penyerap panas akan mengurangi kemampuan plat terminal dingin dalam mendinginkan ruangan. Sedangkan bertambahnya kecepatan udara akan mempercepat laju penurunan *base*. Sehingga faktor tersebut akan mempengaruhi performa *portable mini refrigerator*.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Februari 2019 sampai dengan April 2019 dengan rencana penelitian yang telah disusun.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

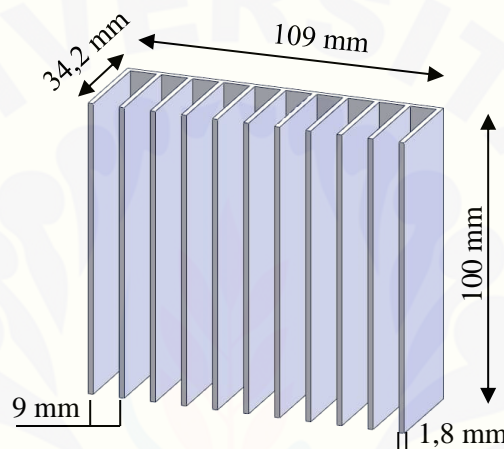
- a. Kotak Pendingin *Polyurethane* 5,5 L (280 X 180 X 200) mm
- b. Elemen Termoelektrik (*Peltier*) tipe TEC1-12705
- c. Kipas DC
- d. *Data Logger*
- e. *Power Supply*
- f. Solder
- g. *Hand Drill*
- h. *Thermal Paste*
- i. Gerinda
- j. Multimeter
- k. *Tachometer*
- l. *Heatsink*
- m. Laptop
- n. Aluminium
- o. *Styrofoam Glue*

3.2.2 Bahan

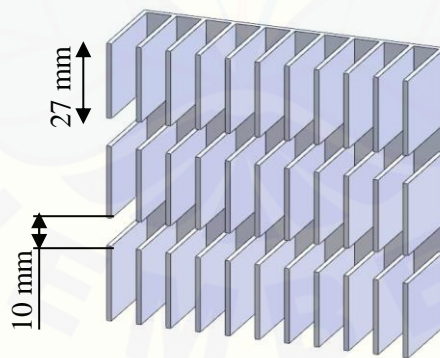
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *heatsink* dengan variasi jenis *extruded*, *slot*, dan *double-slot* dengan ukuran 109 mm x 100 mm x 34,2 mm dengan ketebalan sirip sebesar 1 mm. Bahan yang digunakan adalah aluminium

6060 (AlMgSi). Tipe *heatsink* dapat dilihat pada Gambar 3.1, Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

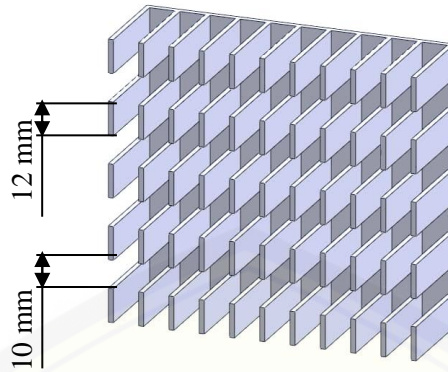
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan variasi tipe *heatsink* panas dan variasi kecepatan udara yang mengalir. Variasi tipe *heatsink* dilakukan dengan menempatkan *heatsink* di terminal panas elemen peltier pada waktu pendinginan 60 menit dengan interval 10 menit. Untuk variasi kecepatan udara yang diberikan adalah 0,5 m/s; 1 m/s dan 1,5 m/s.



Gambar 3.1 *Heatsink* tipe *Extrude*



Gambar 3.2 *Heatsink* tipe *Slot*



Gambar 3.3 *Heatsink* tipe *Double-slot*

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode percobaan yang dilakukan di laboratorium dengan menjadikan penelitian terdahulu sebagai referensi untuk melakukan percobaan menggunakan elemen termoelektrik (*Peltier*). Hasil penelitian kemudian dianalisa dan konsultasi dengan dosen pembimbing penelitian.

Penelitian ini menggunakan 2 buah elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan variasi tipe *heatsink* panas dan variasi kecepatan udara yang mengalir. Variasi tipe *heatsink* dilakukan dengan menempatkan *heatsink* di terminal panas elemen *peltier* pada waktu pendinginan 60 menit dengan interval 10 menit. Untuk variasi kecepatan udara yang diberikan adalah 0,5 m/s; 1 m/s dan 1,5 m/s.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Alat Pengujian

Persiapan alat pengujian dilakukan dengan memodifikasi kotak pendingin dengan menambahkan elemen termoelektrik (*Peltier*) yang disusun secara paralel.

3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua kelengkapan alat uji penelitian serta melakukan tes untuk memeriksa alat uji berfungsi dengan baik atau tidak.

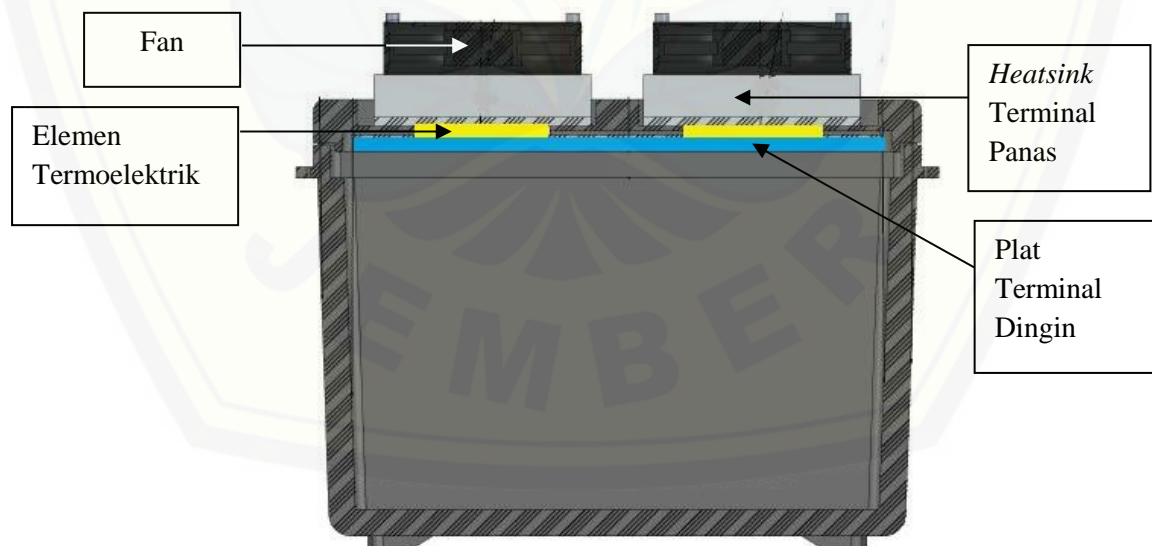
3.4.3 Tahapan Pengambilan Data

Tahap-tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

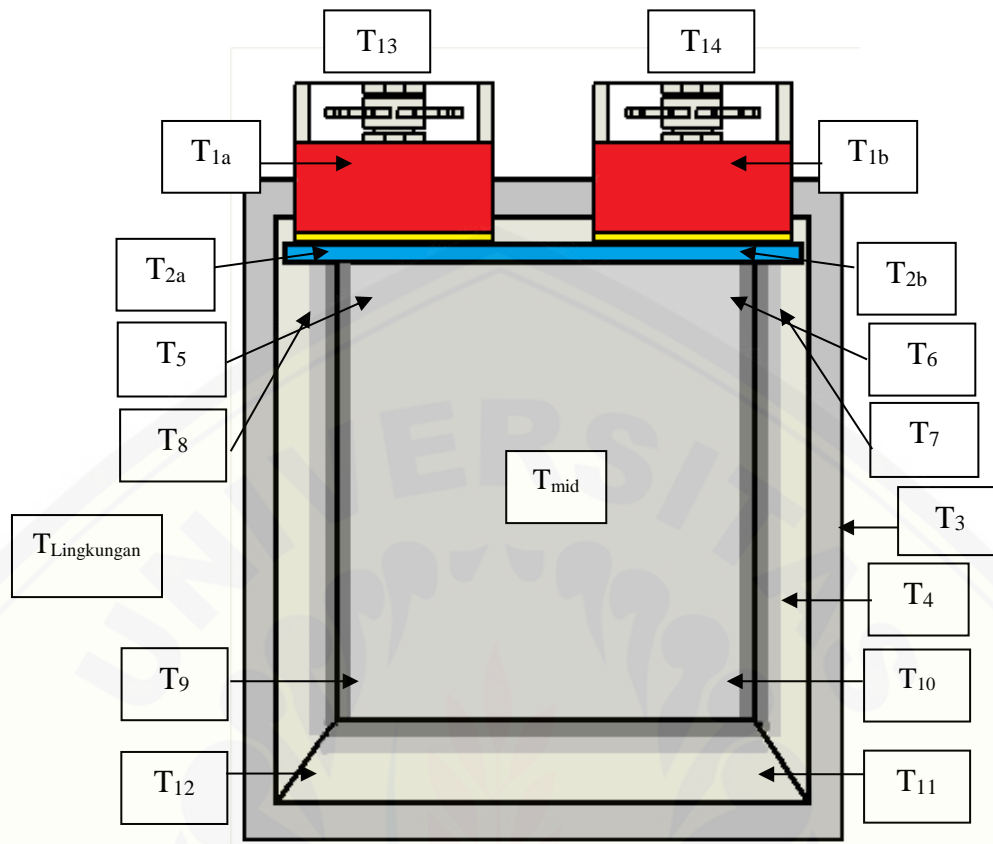
- a. Merangkai komponen-komponen mesin pendingin dengan benar yaitu adaptor listrik, elemen termoelektrik, *heatsink*, kipas, dan komponen-komponen lain
- b. Pemasangan alat ukur temperatur (*thermocouple*), pada titik T_{1a} , T_{1b} , T_{2a} , T_{2b} , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , T_7 , T_8 , T_9 , T_{10} , T_{11} , T_{12} , T_{13} , T_{14} , T_{Ling} , dan T_{Mid} . Menjalankan alat uji dan mencatat temperatur yang ditunjukkan oleh pengukur temperatur pada semua titik yang ditentukan
- c. Melakukan percobaan dengan merubah variasi tipe *heatsink extrude*, *slot*, dan *double-slot* dengan variasi kecepatan aliran fluida 0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s masing-masing variasi dilakukan dengan waktu pendinginan 60 menit.
- d. Pengumpulan data
- e. Perhitungan data untuk mencari COP dan efisiensi sistem.

3.5 Rangkaian *Mini Refrigerator Portable*

Skema alat yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.4, Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.4 Skema Rangkaian *mini refrigerator portable*



Gambar 3.5 Titik pengukuran temperatur

Keterangan titik pengambilan suhu pada Gambar 3.5 sebagai berikut.

T_{1a} = Suhu sisi dingin TEC kiri

T_{1b} = Suhu sisi dingin TEC kanan

T_{2a} = Suhu sisi panas TEC kiri

T_{2b} = Suhu sisi panas TEC kanan

T_3 = Suhu dinding luar kotak pendingin

T_4 = Suhu dinding dalam kotak pendingin

T_5 = Suhu atas belakang kiri kotak pendingin

T_6 = Suhu atas belakang kanan kotak pendingin

T_7 = Suhu atas depan kanan kotak pendingin

T_8 = Suhu atas depan kiri kotak pendingin

T_9 = Suhu bawah belakang kiri kotak pendingin

T_{10} = Suhu bawah belakang kanan kotak pendingin

T_{11} = Suhu bawah depan kanan kotak pendingin

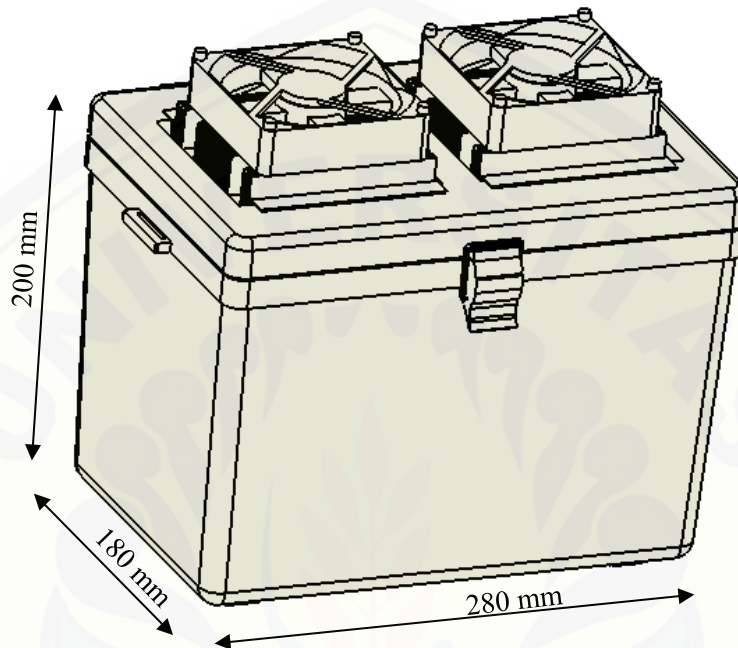
T_{12} = Suhu bawah depan kiri kotak pendingin

T_{13} = Suhu udara aliran pembuangan fan kiri

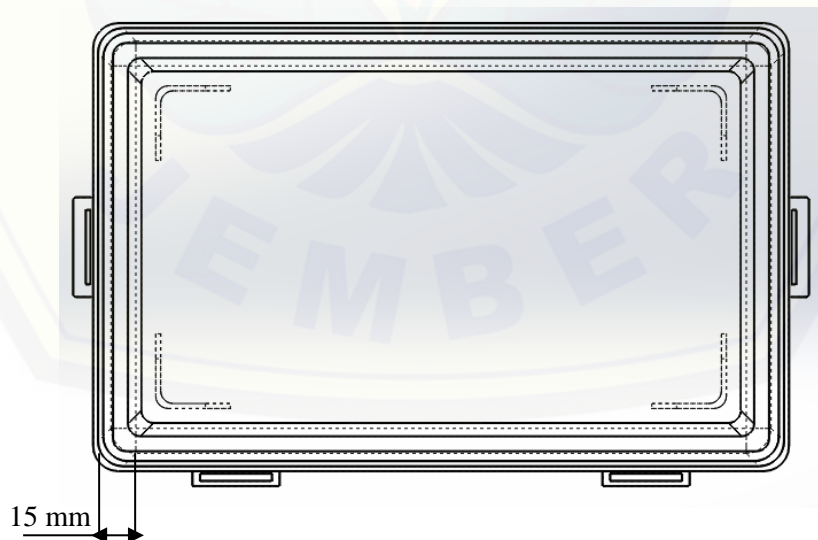
T_{14} = Suhu udara aliran pembuangan fan kanan

$T_{Lingkungan}$ = Suhu lingkungan

T_{Mid} = Suhu tengah kotak pendingin



Gambar 3.6 Dimensi *cool box* isometri



Gambar 3.7 Dimensi *cool box* tampak atas

3.6 Variabel

Variabel pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan.

3.6.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi tipe *heatsink*, lama waktu pendinginan 60 menit dengan interval 10 menit, daya sebesar 40,59 W dan kecepatan aliran fluida adalah 0,5 m/s; 1 m/s dan 1,5 m/s.

3.6.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. variabel terikat dalam penelitian ini adalah temperature dingin dalam kotak, temperatur pada titik-titik pengukuran suhu.

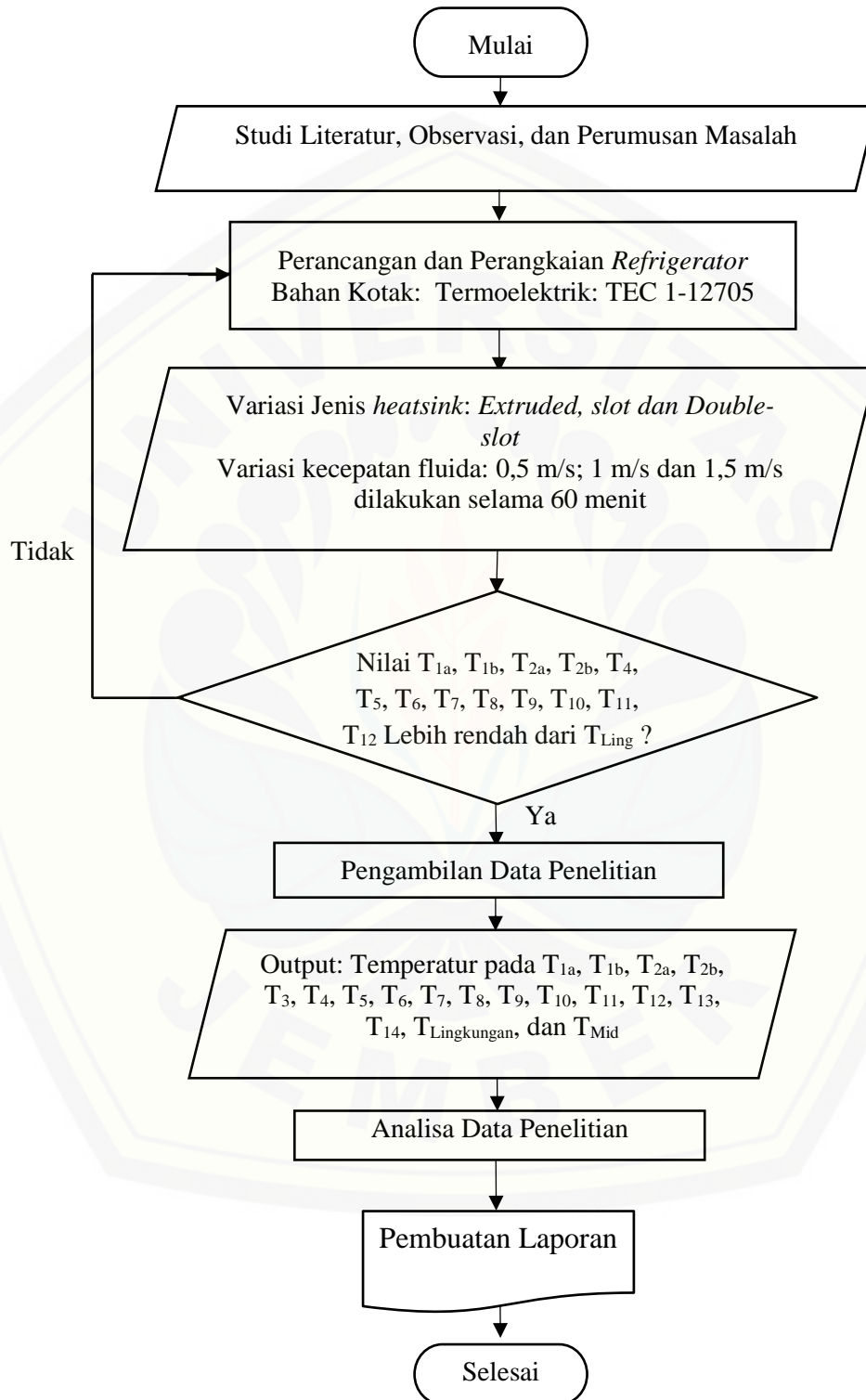
3.6.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat dengan konstan sehingga hubungan antara variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol dari penelitian ini yaitu menggunakan *heatsink* dengan konveksi paksa dan dimensi sebagai berikut:

Panjang	= 109 mm
Lebar	= 100 mm
Tinggi	= 34,2 mm
Jarak sirip	= 9 mm
Jarak slot	= 10 mm
Jarak sirip	= 1,8 mm

3.7 Diagram Alir

Proses dan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.8 dibawah ini:



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Sistem pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER) memiliki nilai COP yang lebih tinggi jika menggunakan *heatsink* tipe *extrude* daripada menggunakan *heatsink* tipe *slot* dan *double-slot*. Pada kecepatan aliran fluida 1,5 m/s, penggunaan *heatsink* slot menyebabkan nilai kerja COP mengalami penurunan sebesar 0,0846. Sedangkan penggunaan *heatsink double-slot* nilai kerja COP turun sebesar 0,1382 bila dibandingkan dengan *heatsink* tipe *extrude*.
2. Suhu pada kotak pendingin dengan variasi TEC pada kecepatan 1,5 m/s lebih rendah daripada TEC pada kecepatan 0,5 m/s. Hal ini disebabkan akibat adanya transfer panas yang lebih tinggi akibat penambahan kecepatan aliran fluida.
3. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh *heatsink extrude* yaitu sebesar 8,127% pada kecepatan aliran fluida 1,0 m/s. Sedangkan efisiensi terendah dihasilkan oleh *heatsink* tipe *slot* yaitu sebesar 5,50% pada kecepatan aliran fluida 0,5 m/s.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti berikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Disarankan menggunakan *heatsink* tipe *extrude* untuk memperoleh performa kinerja (COP) yang lebih tinggi.
2. Pada penggunaan rangkain pada TEC disarankan menggunakan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s daripada kecepatan yang lebih rendah. Karena penggunaan aliran fluida yang besar dapat mempercepat proses perpindahan panas *heatsink* ke lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapman, C. L., Lee, S., dan Schmidt, B. L. 1994. Thermal Performance of An Elliptical Pin Fin Heat Sink. *Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium*. 10: 24-31.
- Everredtronics. Thermoelectric Modules. http://www.everredtronics.com/files/TEC1-12705T125_40x40x3.9mm.pdf [Diakses pada 10 Maret 2017].
- Harsono P. 2015. Analisis Pengaruh Luasan Heatsink Terhadap Unjuk Kerja *Portable Mini Refrigerator*. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Holman, J.P. 1993. Perpindahan Kalor Edisi keenam. Penerjemah: Erlangga, Jakarta.
- Karlida, I., dan Musfiroh, I. 2017. Review: Suhu Penyimpanan Bahan Baku dan Produk Farmasi di Gudang Industri Farmasi. *Jurnal Universitas Padjadjaran: Farmaka*. Vol. 15 (4): 58-66.
- Nandy P., Aziz O., Idam B., dan Fery Y. 2007. Penggunaan Hetsink Fan sebagai Pendingin Sisi Panas Elemen Peltier pada Pengembangan Vaccine Carrier. *Jurnal Teknologi*. Edisi 1 Tahun XXI. Maret.
- Oktorina, D. H. 2006. Kajian Karakteristik Modul Termoelektrik Untuk Sistem Penyimpanan Dingin . *Skripsi*. Bandung: Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Poetro, J. E., dan Handoko, C. R. 2013. Analisis Kinerja Sitem Pendingin Arus Searah yang Menggunakan Heatsink Jenis Extruded Dibandingkan dengan Heatsink Jenis Slot. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 21 (2): 178-188.
- Rawat, M. K., Chattopadhyay, H., dan Neogi, S. 2013. A Review On Development of Thermoelectric Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Novel Potential Green Refrigeration and Air Conditioning Technology. *International Journal of Emerging Techonolgy and Advanced Engineering*. Vol. 3 Issue 3, Februari 2013 (362-367).
- Santosa, B. 2015. Mengenal Thermo-Electric (Peltier). <http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menuutama/listrik-elctro/1292-mengenal-thermo-electric-peltier> [Diakses pada 29 Januari 2015].
- Soodphakdee, D., Behnia, M., dan Copeland, D. W. 2001. A Comparison of Fin Geometries for Heatsinks in Laminar Forced Convection: Part I - Round, Elliptical, and Plate Fins in Staggered and In-Line Configurations. *The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging*. 24 (1): 68-76.

Wakefield. 2009. Extrusion heatsink. <http://www.wakefieldvette.com/products/natural-convection.aspx> [Diakses pada 29 Juli 2015].

Yunianto, Bambang. 2008. Pengujian Perpindahan Panas Konveksi pada Heatsink Jenis Extruded. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Vol. 10 (1): 23-28.



LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Data hasil percobaan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada kecepatan udara = 0,5m/s

Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Temperatur (°C)																	
		T1a	T1b	T2a	T2b	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	Tmid	Tling
0	<i>Extrude</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>D. Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
10	<i>Extrude</i>	11.40	14.67	44.47	41.93	29.13	24.97	24.17	24.77	25.73	24.90	23.80	24.53	24.47	22.97	32.30	32.20	23.57	28,00
	<i>Slot</i>	12.80	13.93	45.30	45.00	28.87	24.93	24.10	23.93	25.60	24.63	23.63	24.33	24.53	23.30	32.10	32.03	23.27	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.10	14.40	47.30	44.83	28.97	25.27	24.57	25.13	25.93	25.20	24.13	24.80	24.70	23.77	33.17	32.83	23.43	28,00
20	<i>Extrude</i>	11.53	15.00	44.80	43.00	28.87	24.13	22.87	23.70	24.50	23.33	22.30	23.63	23.37	21.60	33.40	32.17	22.77	28,00
	<i>Slot</i>	13.01	14.00	46.77	45.23	28.63	23.93	23.13	23.87	24.77	23.70	22.63	23.50	23.53	22.37	32.50	32.23	22.47	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.10	14.37	48.79	45.00	28.83	24.47	23.50	24.27	25.17	24.33	23.30	24.07	23.80	22.43	33.83	32.73	23.17	28,00
30	<i>Extrude</i>	11.20	14.40	44.47	41.87	28.80	23.83	22.13	23.03	23.67	22.60	21.67	22.97	22.83	20.90	32.53	32.10	22.33	28,00
	<i>Slot</i>	12.71	13.63	46.63	45.43	28.87	23.43	22.63	23.43	24.17	23.20	22.20	23.03	23.17	21.93	32.73	32.47	21.90	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.03	14.13	48.75	44.90	28.83	24.10	22.93	23.87	24.63	23.70	22.57	23.70	23.47	21.97	33.97	32.80	22.73	28,00
40	<i>Extrude</i>	11.17	14.60	44.67	42.77	28.63	23.57	21.80	22.73	23.43	22.43	21.40	22.70	22.60	20.83	33.13	32.10	22.00	28,00
	<i>Slot</i>	12.51	13.50	46.53	45.00	28.67	23.07	22.37	23.17	23.97	23.00	22.00	22.83	22.87	21.70	33.03	32.77	21.83	28,00
	<i>D. Slot</i>	12.97	14.03	48.82	44.80	28.70	23.90	22.57	23.60	24.37	23.37	22.17	23.47	23.27	21.67	33.87	32.70	22.53	28,00
50	<i>Extrude</i>	11.13	14.60	44.50	42.63	28.47	23.33	21.70	22.53	23.27	22.37	21.33	22.57	22.40	20.80	33.43	32.17	21.90	28,00
	<i>Slot</i>	12.37	13.73	46.51	45.26	28.70	22.87	22.27	23.00	23.80	22.87	21.83	22.67	22.70	21.50	32.93	33.00	21.63	28,00
	<i>D. Slot</i>	12.97	13.90	49.02	44.67	28.70	23.77	22.47	23.50	24.23	23.23	22.13	23.33	23.13	21.50	33.77	32.77	22.50	28,00
60	<i>Extrude</i>	11.17	14.57	44.47	42.50	28.60	23.37	21.73	22.53	23.30	22.33	21.30	22.53	22.43	20.73	33.40	32.20	21.83	28,00
	<i>Slot</i>	12.54	13.40	46.80	45.23	28.63	22.83	22.23	23.00	23.73	22.87	21.90	22.60	22.63	21.60	33.03	32.90	21.50	28,00
	<i>D. Slot</i>	12.80	13.83	48.82	44.80	28.77	23.77	22.43	23.40	24.20	23.27	22.07	23.33	23.07	21.50	33.63	32.57	22.40	28,00

Lampiran 4.2 Data hasil percobaan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada kecepatan udara = 1,0m/s

Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Temperatur (°C)																	
		T1a	T1b	T2a	T2b	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	Tmid	Tling
0	<i>Extrude</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>D. Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
10	<i>Extrude</i>	9.67	11.77	38.28	36.03	26.77	21.87	23.03	23.87	24.83	23.20	22.47	23.67	23.40	22.13	29.40	28.37	22.30	28,00
	<i>Slot</i>	9.13	10.13	37.75	38.00	28.83	24.77	25.53	24.60	25.50	24.83	23.53	24.87	24.60	22.70	30.33	29.87	24.00	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.43	11.03	41.00	38.67	27.13	23.43	24.17	25.00	25.80	25.20	23.93	24.83	24.60	23.03	31.17	30.10	23.97	28,00
20	<i>Extrude</i>	9.23	10.93	39.17	36.40	26.63	20.70	21.40	22.63	23.70	21.77	20.93	22.60	22.37	20.37	29.43	28.43	21.77	28,00
	<i>Slot</i>	8.50	10.10	38.80	38.53	28.70	23.70	24.50	24.00	24.73	23.53	22.40	23.90	23.53	21.73	30.57	30.07	22.77	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.17	10.77	41.10	38.75	27.10	22.13	23.27	24.20	25.03	24.07	22.90	24.20	23.80	22.20	31.47	30.33	23.07	28,00
30	<i>Extrude</i>	9.10	10.33	38.30	36.23	26.60	19.90	20.73	21.97	22.90	21.00	20.13	21.80	21.77	19.70	29.47	28.50	21.07	28,00
	<i>Slot</i>	8.57	10.50	39.47	39.23	28.97	23.27	23.93	23.80	24.30	22.93	21.93	23.43	23.13	21.27	30.73	30.10	22.53	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.73	10.40	41.17	38.80	26.83	21.33	22.93	23.93	24.67	23.63	22.37	23.87	23.53	21.77	31.43	30.27	22.90	28,00
40	<i>Extrude</i>	8.67	10.47	38.03	36.10	26.57	19.60	20.40	21.53	22.57	20.73	19.90	21.43	21.50	19.77	29.50	28.77	20.53	28,00
	<i>Slot</i>	8.13	10.50	39.60	38.80	28.87	22.87	23.27	23.37	24.07	22.77	21.77	23.03	22.97	21.17	30.83	30.23	22.17	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.90	10.33	41.00	38.72	26.83	21.03	22.57	23.60	24.33	23.40	22.10	23.47	23.27	21.47	31.37	30.17	22.53	28,00
50	<i>Extrude</i>	8.10	9.93	38.33	36.50	26.73	19.53	20.10	21.37	22.23	20.53	19.73	21.40	21.30	19.23	29.60	28.77	20.63	28,00
	<i>Slot</i>	8.10	10.33	39.72	39.25	28.90	22.70	23.13	23.00	23.83	22.50	21.60	22.90	22.63	21.00	30.70	30.17	22.03	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.17	10.23	41.63	38.93	26.97	20.97	22.47	23.43	24.13	23.27	21.93	23.43	23.17	21.37	31.43	30.23	22.43	28,00
60	<i>Extrude</i>	7.98	9.80	38.40	36.33	26.67	19.23	19.80	21.13	22.13	20.30	19.63	21.03	21.20	19.33	29.43	28.67	20.50	28,00
	<i>Slot</i>	7.98	10.23	39.87	39.13	29.00	22.70	22.83	22.90	23.87	22.33	21.60	22.60	22.40	21.13	30.87	30.20	21.73	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.77	10.33	41.70	39.02	26.93	20.83	22.43	23.40	24.17	23.23	21.90	23.37	23.00	21.37	31.53	30.37	22.33	28,00

Lampiran 4.3 Data hasil percobaan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada kecepatan udara = 1,5m/s

Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Temperatur (°C)																	
		T1a	T1b	T2a	T2b	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	Tmid	Tling
0	<i>Extrude</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>D. Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
10	<i>Extrude</i>	9.37	12.70	33.77	37.63	27.93	24.40	23.10	22.87	24.03	23.63	22.47	23.50	23.17	21.43	30.03	30.00	23.07	28,00
	<i>Slot</i>	8.20	10.20	36.40	39.60	28.33	24.47	22.73	23.43	24.30	23.57	21.97	23.23	23.07	21.23	30.50	30.43	22.70	28,00
	<i>D. Slot</i>	6.83	9.95	37.60	41.57	27.27	23.30	22.47	23.17	23.97	23.07	22.83	22.90	21.83	22.30	30.27	30.10	22.33	28,00
20	<i>Extrude</i>	8.77	12.10	33.90	37.50	27.77	23.17	21.63	21.43	22.40	21.97	20.73	22.43	22.00	20.27	30.00	29.67	21.63	28,00
	<i>Slot</i>	8.07	9.93	36.67	39.63	28.13	23.23	21.43	22.30	23.10	21.80	20.50	22.17	22.10	19.93	30.43	30.20	21.60	28,00
	<i>D. Slot</i>	6.93	9.86	38.73	42.13	27.03	21.77	21.27	22.07	22.77	21.40	21.13	21.40	20.37	21.03	30.40	30.23	20.90	28,00
30	<i>Extrude</i>	8.40	11.77	33.57	37.97	27.23	22.13	20.77	20.63	21.53	21.13	19.93	21.50	21.33	19.57	29.87	29.40	21.10	28,00
	<i>Slot</i>	7.63	9.87	36.30	39.77	27.97	22.43	20.60	21.53	22.27	20.90	19.87	21.50	21.53	19.37	30.30	29.97	21.00	28,00
	<i>D. Slot</i>	7.27	10.73	39.60	41.20	26.80	20.90	20.47	21.40	22.13	20.90	20.43	20.67	19.77	20.33	30.33	30.10	20.30	28,00
40	<i>Extrude</i>	8.23	11.50	33.47	37.77	26.90	21.67	20.47	20.27	21.13	20.83	19.60	21.20	21.10	19.27	29.67	29.17	20.50	28,00
	<i>Slot</i>	7.70	9.67	36.43	39.80	27.83	22.03	20.20	21.10	21.80	20.43	19.53	21.03	21.13	19.07	30.17	29.77	20.63	28,00
	<i>D. Slot</i>	7.20	10.63	39.73	40.87	26.77	20.53	20.13	21.07	21.77	20.47	20.20	20.33	19.47	19.90	30.30	30.17	20.10	28,00
50	<i>Extrude</i>	8.10	11.30	33.57	37.60	26.70	21.43	20.27	20.10	20.90	20.67	19.33	20.83	20.73	18.83	29.63	29.03	20.47	28,00
	<i>Slot</i>	7.60	9.53	36.37	40.03	27.73	21.70	19.90	20.77	21.53	20.23	19.27	20.83	20.80	18.77	30.15	29.67	20.37	28,00
	<i>D. Slot</i>	7.17	10.59	39.77	40.87	26.83	20.23	19.83	20.73	21.43	20.10	19.97	20.17	19.40	19.80	30.37	30.20	19.87	28,00
60	<i>Extrude</i>	8.07	11.23	33.53	37.73	26.73	21.27	20.20	20.07	20.87	20.57	19.17	20.73	20.60	18.73	29.70	29.30	20.23	28,00
	<i>Slot</i>	7.74	9.50	36.47	39.90	27.80	21.60	19.77	20.67	21.37	20.03	19.23	20.77	20.70	18.70	30.17	29.73	20.47	28,00
	<i>D. Slot</i>	7.10	10.56	39.73	41.07	26.67	20.13	19.77	20.60	21.40	20.10	20.00	20.23	19.40	19.80	30.30	30.27	19.90	28,00

Lampiran 4.4 Data kemampuan pendinginan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada kecepatan udara = 0,5m/s

Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Temperatur (°C)															
		T _c	T _h	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T _{mid}	T _{ling}
0	<i>Extrude</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	
	<i>D. Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	
10	<i>Extrude</i>	13.03	43.20	29.13	24.97	24.17	24.77	25.73	24.90	23.80	24.53	24.47	22.97	32.30	32.20	23.57	28,00
	<i>Slot</i>	13.37	45.15	28.87	24.93	24.10	23.93	25.60	24.63	23.63	24.33	24.53	23.30	32.10	32.03	23.27	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.75	46.07	28.97	25.27	24.57	25.13	25.93	25.20	24.13	24.80	24.70	23.77	33.17	32.83	23.43	28,00
20	<i>Extrude</i>	13.27	43.90	28.87	24.13	22.87	23.70	24.50	23.33	22.30	23.63	23.37	21.60	33.40	32.17	22.77	28,00
	<i>Slot</i>	13.51	46.00	28.63	23.93	23.13	23.87	24.77	23.70	22.63	23.50	23.53	22.37	32.50	32.23	22.47	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.73	46.89	28.83	24.47	23.50	24.27	25.17	24.33	23.30	24.07	23.80	22.43	33.83	32.73	23.17	28,00
30	<i>Extrude</i>	12.80	43.17	28.80	23.83	22.13	23.03	23.67	22.60	21.67	22.97	22.83	20.90	32.53	32.10	22.33	28,00
	<i>Slot</i>	13.17	46.03	28.87	23.43	22.63	23.43	24.17	23.20	22.20	23.03	23.17	21.93	32.73	32.47	21.90	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.58	46.83	28.83	24.10	22.93	23.87	24.63	23.70	22.57	23.70	23.47	21.97	33.97	32.80	22.73	28,00
40	<i>Extrude</i>	12.88	43.72	28.63	23.57	21.80	22.73	23.43	22.43	21.40	22.70	22.60	20.83	33.13	32.10	22.00	28,00
	<i>Slot</i>	13.00	45.77	28.67	23.07	22.37	23.17	23.97	23.00	22.00	22.83	22.87	21.70	33.03	32.77	21.83	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.50	46.81	28.70	23.90	22.57	23.60	24.37	23.37	22.17	23.47	23.27	21.67	33.87	32.70	22.53	28,00
50	<i>Extrude</i>	12.87	43.57	28.47	23.33	21.70	22.53	23.27	22.37	21.33	22.57	22.40	20.80	33.43	32.17	21.90	28,00
	<i>Slot</i>	13.05	45.89	28.70	22.87	22.27	23.00	23.80	22.87	21.83	22.67	22.70	21.50	32.93	33.00	21.63	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.43	46.84	28.70	23.77	22.47	23.50	24.23	23.23	22.13	23.33	23.13	21.50	33.77	32.77	22.50	28,00
60	<i>Extrude</i>	12.87	43.48	28.60	23.37	21.73	22.53	23.30	22.33	21.30	22.53	22.43	20.73	33.40	32.20	21.83	28,00
	<i>Slot</i>	12.97	46.02	28.63	22.83	22.23	23.00	23.73	22.87	21.90	22.60	22.63	21.60	33.03	32.90	21.50	28,00
	<i>D. Slot</i>	13.32	46.81	28.77	23.77	22.43	23.40	24.20	23.27	22.07	23.33	23.07	21.50	33.63	32.57	22.40	28,00

Lampiran 4.5 Data kemampuan pendinginan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada kecepatan udara = 1,0m/s

Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Temperatur (°C)															
		Tc	Th	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	Tmid	Tling
0	<i>Extrude</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>D. Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
10	<i>Extrude</i>	10.72	37.16	29.13	24.97	24.17	24.77	25.73	24.90	23.80	24.53	24.47	22.97	32.30	32.20	23.57	28,00
	<i>Slot</i>	9.63	37.88	28.87	24.93	24.10	23.93	25.60	24.63	23.63	24.33	24.53	23.30	32.10	32.03	23.27	28,00
	<i>D. Slot</i>	10.23	39.84	28.97	25.27	24.57	25.13	25.93	25.20	24.13	24.80	24.70	23.77	33.17	32.83	23.43	28,00
20	<i>Extrude</i>	10.08	37.78	28.87	24.13	22.87	23.70	24.50	23.33	22.30	23.63	23.37	21.60	33.40	32.17	22.77	28,00
	<i>Slot</i>	9.30	38.67	28.63	23.93	23.13	23.87	24.77	23.70	22.63	23.50	23.53	22.37	32.50	32.23	22.47	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.97	39.93	28.83	24.47	23.50	24.27	25.17	24.33	23.30	24.07	23.80	22.43	33.83	32.73	23.17	28,00
30	<i>Extrude</i>	9.72	37.27	28.80	23.83	22.13	23.03	23.67	22.60	21.67	22.97	22.83	20.90	32.53	32.10	22.33	28,00
	<i>Slot</i>	9.53	39.35	28.87	23.43	22.63	23.43	24.17	23.20	22.20	23.03	23.17	21.93	32.73	32.47	21.90	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.57	39.98	28.83	24.10	22.93	23.87	24.63	23.70	22.57	23.70	23.47	21.97	33.97	32.80	22.73	28,00
40	<i>Extrude</i>	9.57	37.07	28.63	23.57	21.80	22.73	23.43	22.43	21.40	22.70	22.60	20.83	33.13	32.10	22.00	28,00
	<i>Slot</i>	9.32	39.20	28.67	23.07	22.37	23.17	23.97	23.00	22.00	22.83	22.87	21.70	33.03	32.77	21.83	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.62	39.86	28.70	23.90	22.57	23.60	24.37	23.37	22.17	23.47	23.27	21.67	33.87	32.70	22.53	28,00
50	<i>Extrude</i>	9.02	37.42	28.47	23.33	21.70	22.53	23.27	22.37	21.33	22.57	22.40	20.80	33.43	32.17	21.90	28,00
	<i>Slot</i>	9.22	39.49	28.70	22.87	22.27	23.00	23.80	22.87	21.83	22.67	22.70	21.50	32.93	33.00	21.63	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.70	40.28	28.70	23.77	22.47	23.50	24.23	23.23	22.13	23.33	23.13	21.50	33.77	32.77	22.50	28,00
60	<i>Extrude</i>	8.89	37.37	28.60	23.37	21.73	22.53	23.30	22.33	21.30	22.53	22.43	20.73	33.40	32.20	21.83	28,00
	<i>Slot</i>	9.11	39.50	28.63	22.83	22.23	23.00	23.73	22.87	21.90	22.60	22.63	21.60	33.03	32.90	21.50	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.55	40.36	28.77	23.77	22.43	23.40	24.20	23.27	22.07	23.33	23.07	21.50	33.63	32.57	22.40	28,00

Lampiran 4.6 Data kemampuan pendinginan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada kecepatan udara = 1,5m/s

Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Temperatur (°C)															
		Tc	Th	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	Tmid	Tling
0	<i>Extrude</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
	<i>D. Slot</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
10	<i>Extrude</i>	11.03	35.70	29.13	24.97	24.17	24.77	25.73	24.90	23.80	24.53	24.47	22.97	32.30	32.20	23.57	28,00
	<i>Slot</i>	9.20	38.00	28.87	24.93	24.10	23.93	25.60	24.63	23.63	24.33	24.53	23.30	32.10	32.03	23.27	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.39	39.58	28.97	25.27	24.57	25.13	25.93	25.20	24.13	24.80	24.70	23.77	33.17	32.83	23.43	28,00
20	<i>Extrude</i>	10.43	35.70	28.87	24.13	22.87	23.70	24.50	23.33	22.30	23.63	23.37	21.60	33.40	32.17	22.77	28,00
	<i>Slot</i>	9.00	38.15	28.63	23.93	23.13	23.87	24.77	23.70	22.63	23.50	23.53	22.37	32.50	32.23	22.47	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.39	40.43	28.83	24.47	23.50	24.27	25.17	24.33	23.30	24.07	23.80	22.43	33.83	32.73	23.17	28,00
30	<i>Extrude</i>	10.08	35.77	28.80	23.83	22.13	23.03	23.67	22.60	21.67	22.97	22.83	20.90	32.53	32.10	22.33	28,00
	<i>Slot</i>	8.75	38.04	28.87	23.43	22.63	23.43	24.17	23.20	22.20	23.03	23.17	21.93	32.73	32.47	21.90	28,00
	<i>D. Slot</i>	9.00	40.40	28.83	24.10	22.93	23.87	24.63	23.70	22.57	23.70	23.47	21.97	33.97	32.80	22.73	28,00
40	<i>Extrude</i>	9.87	35.62	28.63	23.57	21.80	22.73	23.43	22.43	21.40	22.70	22.60	20.83	33.13	32.10	22.00	28,00
	<i>Slot</i>	8.68	38.12	28.67	23.07	22.37	23.17	23.97	23.00	22.00	22.83	22.87	21.70	33.03	32.77	21.83	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.91	40.30	28.70	23.90	22.57	23.60	24.37	23.37	22.17	23.47	23.27	21.67	33.87	32.70	22.53	28,00
50	<i>Extrude</i>	9.70	35.58	28.47	23.33	21.70	22.53	23.27	22.37	21.33	22.57	22.40	20.80	33.43	32.17	21.90	28,00
	<i>Slot</i>	8.57	38.20	28.70	22.87	22.27	23.00	23.80	22.87	21.83	22.67	22.70	21.50	32.93	33.00	21.63	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.88	40.32	28.70	23.77	22.47	23.50	24.23	23.23	22.13	23.33	23.13	21.50	33.77	32.77	22.50	28,00
60	<i>Extrude</i>	9.65	35.63	28.60	23.37	21.73	22.53	23.30	22.33	21.30	22.53	22.43	20.73	33.40	32.20	21.83	28,00
	<i>Slot</i>	8.62	38.19	28.63	22.83	22.23	23.00	23.73	22.87	21.90	22.60	22.63	21.60	33.03	32.90	21.50	28,00
	<i>D. Slot</i>	8.83	40.40	28.77	23.77	22.43	23.40	24.20	23.27	22.07	23.33	23.07	21.50	33.63	32.57	22.40	28,00

Lampiran 4.9 Perhitungan COP pada kecepatan aliran udara 0,5 m/s

Diketahui:

$$\begin{aligned} n &= 127 & \Delta T_{\max} &= 66 \text{ K} & Q_{\max} &= 43 \text{ W} \\ V &= 9,0 \text{ V} & I &= 4,51 \text{ A} & R &= 1,996 \Omega \end{aligned}$$

Berikut adalah contoh perhitungan nilai COP kecepatan udara 0,5 m/s pada waktu 1 menit menggunakan heatsink *extrude*:

Suhu sisi Dingin (K) :

$$\begin{aligned} T_c &= (T_{1a} + T_{1b}) / 2 \\ &= (14,63 \text{ }^\circ\text{C} + 18,30 \text{ }^\circ\text{C}) / 2 \\ &= 16,5 \text{ }^\circ\text{C} = 289,6 \text{ }^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Suhu sisi Panas (K):

$$\begin{aligned} T_h &= (T_{2a} + T_{2b}) / 2 \\ &= (36,80 \text{ }^\circ\text{C} + 35,27 \text{ }^\circ\text{C}) / 2 \\ &= 36,0 \text{ }^\circ\text{C} = 309,2 \text{ }^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Figur of Merit (/K):

$$\begin{aligned} Z &= \Delta T_{\max} / 0,5 T_c^2 \\ &= 66 \text{ }^\circ\text{K} / (0,5 \times 289,6^2 \text{ }^\circ\text{K}) \\ &= 0,0015737 \text{ /K} \end{aligned}$$

Konduktivitas termal termoelektrik (WK^{-1}):

$$\begin{aligned} K &= \frac{Q_{\max}}{(0,5 \times Z \times T_c^2 - (T_h - T_c))} \\ &= 43 \text{ W} / (0,5 \times 0,0015907 \text{ /K} \times 288,1^2 \text{ }^\circ\text{K} - (309,2 \text{ }^\circ\text{K} - 289,6 \text{ }^\circ\text{K})) \\ &= 0,926059 \text{ WK}^{-1} \end{aligned}$$

Koefisien *Seebeck* (V/K):

$$\begin{aligned} \alpha_{pn} &= \sqrt{Z \times K \times R} / n^2 \\ &= \sqrt{(0,0015737 \text{ /K} \times 0,926059 \text{ WK}^{-1} \times 1,99 \Omega)} / 127^2 \\ &= 0,00042404 \text{ V/K} \end{aligned}$$

Panas pada terminal dingin (W):

$$\begin{aligned} Q_c &= n (\alpha_{pn}) T_c I - K (T_h - T_c) - 0,5 I^2 R \\ &= (127 \times 0,00042404 \text{ V/K} \times 289,6 \text{ }^\circ\text{K} \times 4,51 \text{ A}) - (0,926059 \text{ WK}^{-1} \times (309,2 \end{aligned}$$

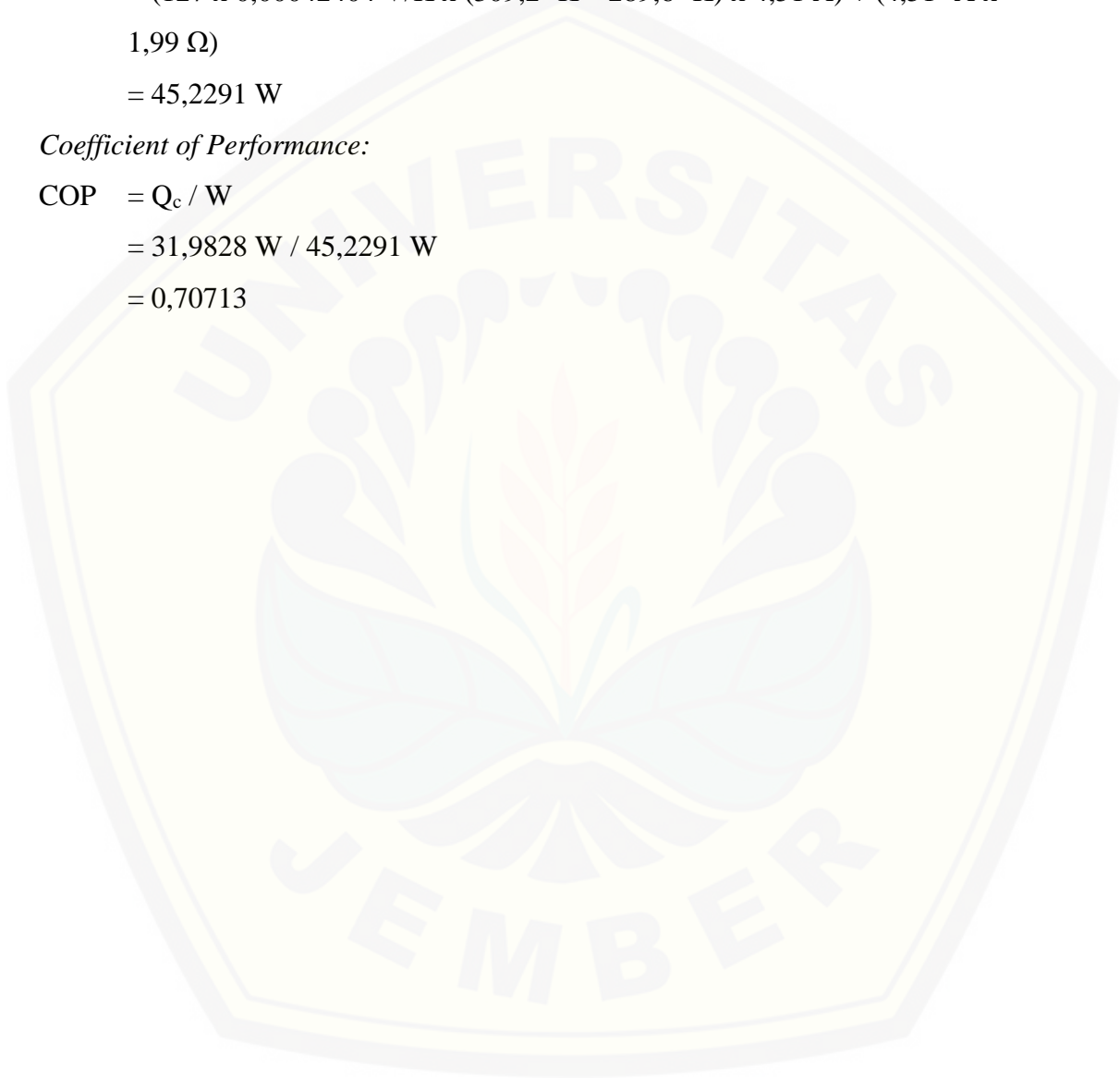
$$\begin{aligned} & \text{°K} - 289,6\text{°K})) - (0,5 \times 4,51^2 \text{ A} \times 1,99 \Omega) \\ & = 31,9828 \text{ W} \end{aligned}$$

Daya yang diperlukan (W) :

$$\begin{aligned} W &= n (\alpha_{pn}) (T_h - T_c) I + I^2 R \\ &= (127 \times 0,00042404 \text{ V/K} \times (309,2 \text{ °K} - 289,6 \text{ °K}) \times 4,51 \text{ A}) + (4,51^2 \text{ A} \times \\ & 1,99 \Omega) \\ &= 45,2291 \text{ W} \end{aligned}$$

Coefficient of Performance:

$$\begin{aligned} \text{COP} &= Q_c / W \\ &= 31,9828 \text{ W} / 45,2291 \text{ W} \\ &= 0,70713 \end{aligned}$$



Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Tc (K)	Th (K)	Z (/K)	K (WK1)	α_{pn} (V/K)	Qc (W)	W (W)	COP
0	<i>Extrude</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
	<i>Slot</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
	<i>D. Slot</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
1	<i>Extrude</i>	289.6	309.2	0.0015737	0.926059	0.00042404	31.9828	45.2291	0.70713
	<i>Slot</i>	289.2	309.0	0.0015786	0.931139	0.00042586	31.8402	45.3113	0.70270
	<i>D. Slot</i>	289.8	310.2	0.0015723	0.944018	0.00042793	31.4763	45.4892	0.69195
2	<i>Extrude</i>	287.7	312.2	0.0015953	1.037812	0.00045196	28.7305	46.8364	0.61342
	<i>Slot</i>	288.3	313.1	0.0015887	1.043689	0.00045230	28.5532	46.9016	0.60879
	<i>D. Slot</i>	288.1	314.1	0.0015909	1.076345	0.00045964	27.5571	47.3349	0.58217
3	<i>Extrude</i>	287.1	313.5	0.0016010	1.086224	0.00046322	27.2523	47.4847	0.57392
	<i>Slot</i>	287.9	315.2	0.0015925	1.110952	0.00046720	26.4826	47.7808	0.55425
	<i>D. Slot</i>	287.6	316.2	0.0015959	1.149733	0.00047579	25.2562	48.2709	0.52322
4	<i>Extrude</i>	286.9	313.9	0.0016035	1.101152	0.00046674	26.7888	47.6815	0.56183
	<i>Slot</i>	287.6	315.7	0.0015963	1.135164	0.00047283	25.7196	48.0923	0.53480
	<i>D. Slot</i>	287.5	317.7	0.0015975	1.201117	0.00048656	23.5971	48.8932	0.48263
5	<i>Extrude</i>	286.7	314.1	0.0016065	1.114952	0.00047010	26.3571	47.8634	0.55067
	<i>Slot</i>	287.2	316.1	0.0015999	1.158561	0.00047822	24.9739	48.3886	0.51611
	<i>D. Slot</i>	286.9	318.2	0.0016034	1.238458	0.00049497	22.3683	49.3447	0.45331
6	<i>Extrude</i>	286.6	314.5	0.0016074	1.130587	0.00047352	25.8645	48.0618	0.53815
	<i>Slot</i>	287.2	316.1	0.0016009	1.161064	0.00047888	24.8936	48.4216	0.51410
	<i>D. Slot</i>	286.8	318.4	0.0016044	1.246919	0.00049682	22.0873	49.4448	0.44671

7	<i>Extrude</i>	286.3	314.8	0.0016100	1.146667	0.00047726	25.3540	48.2676	0.52528
	<i>Slot</i>	287.0	316.3	0.0016028	1.172301	0.00048148	24.5322	48.5626	0.50517
	<i>D. Slot</i>	286.9	318.3	0.0016041	1.242236	0.00049583	22.2430	49.3901	0.45035
8	<i>Extrude</i>	286.3	315.1	0.0016108	1.155914	0.00047929	25.0587	48.3831	0.51792
	<i>Slot</i>	286.9	317.3	0.0016037	1.206171	0.00048852	23.4319	48.9690	0.47850
	<i>D. Slot</i>	287.0	318.3	0.0016024	1.238836	0.00049490	22.3558	49.3464	0.45304
9	<i>Extrude</i>	286.2	315.5	0.0016117	1.172674	0.00048290	24.5202	48.5896	0.50464
	<i>Slot</i>	286.5	317.5	0.0016081	1.228571	0.00049373	22.6955	49.2433	0.46089
	<i>D. Slot</i>	287.0	318.8	0.0016025	1.255474	0.00049823	21.8022	49.5374	0.44012
10	<i>Extrude</i>	286.2	316.4	0.0016117	1.200000	0.00048849	23.6336	48.9172	0.48313
	<i>Slot</i>	286.5	318.3	0.0016080	1.256759	0.00049933	21.7593	49.5674	0.43898
	<i>D. Slot</i>	286.9	319.2	0.0016037	1.276533	0.00050257	21.0964	49.7789	0.42380
15	<i>Extrude</i>	286.3	316.8	0.0016104	1.211837	0.00049069	23.2463	49.0536	0.47390
	<i>Slot</i>	286.4	318.7	0.0016093	1.275964	0.00050333	21.1155	49.7887	0.42410
	<i>D. Slot</i>	287.0	319.8	0.0016022	1.291873	0.00050534	20.5786	49.9460	0.41202
20	<i>Extrude</i>	286.4	317.1	0.0016091	1.215834	0.00049130	23.1151	49.0971	0.47080
	<i>Slot</i>	286.7	319.1	0.0016064	1.283327	0.00050433	20.8674	49.8631	0.41849
	<i>D. Slot</i>	286.9	320.0	0.0016038	1.309379	0.00050902	19.9843	50.1447	0.39853
25	<i>Extrude</i>	286.3	316.6	0.0016108	1.206171	0.00048960	23.4319	48.9878	0.47832
	<i>Slot</i>	286.3	319.2	0.0016106	1.297721	0.00050781	20.3805	50.0359	0.40732
	<i>D. Slot</i>	286.7	319.9	0.0016059	1.310177	0.00050950	19.9571	50.1597	0.39787
30	<i>Extrude</i>	286.0	316.3	0.0016143	1.206735	0.00049026	23.4135	49.0039	0.47779
	<i>Slot</i>	286.3	319.2	0.0016102	1.297591	0.00050772	20.3849	50.0333	0.40743
	<i>D. Slot</i>	286.7	320.0	0.0016055	1.312710	0.00050994	19.8707	50.1864	0.39594

35	<i>Extrude</i>	285.8	316.5	0.0016157	1.216407	0.00049242	23.0963	49.1214	0.47019
	<i>Slot</i>	286.3	319.1	0.0016107	1.294849	0.00050727	20.4779	50.0043	0.40952
	<i>D. Slot</i>	286.6	320.0	0.0016070	1.317806	0.00051116	19.6968	50.2468	0.39200
40	<i>Extrude</i>	286.0	316.9	0.0016134	1.222749	0.00049336	22.8876	49.1897	0.46529
	<i>Slot</i>	286.2	318.9	0.0016120	1.293687	0.00050725	20.5172	49.9954	0.41038
	<i>D. Slot</i>	286.7	320.0	0.0016065	1.315387	0.00051060	19.7794	50.2186	0.39387
45	<i>Extrude</i>	286.1	316.8	0.0016125	1.217555	0.00049217	23.0585	49.1264	0.46937
	<i>Slot</i>	286.2	319.1	0.0016115	1.297721	0.00050796	20.3805	50.0387	0.40729
	<i>D. Slot</i>	286.5	319.9	0.0016087	1.320639	0.00051198	19.6000	50.2830	0.38979
50	<i>Extrude</i>	286.0	316.7	0.0016136	1.218130	0.00049245	23.0396	49.1361	0.46889
	<i>Slot</i>	286.2	319.0	0.0016115	1.296613	0.00050775	20.4181	50.0264	0.40815
	<i>D. Slot</i>	286.6	320.0	0.0016072	1.319423	0.00051151	19.6415	50.2651	0.39076
55	<i>Extrude</i>	286.1	316.7	0.0016126	1.212976	0.00049127	23.2089	49.0731	0.47295
	<i>Slot</i>	286.1	319.1	0.0016125	1.302570	0.00050906	20.2159	50.0953	0.40355
	<i>D. Slot</i>	286.5	320.0	0.0016081	1.321511	0.00051205	19.5701	50.2907	0.38914
60	<i>Extrude</i>	286.0	316.6	0.0016136	1.215261	0.00049187	23.1339	49.1024	0.47114
	<i>Slot</i>	286.1	319.2	0.0016124	1.304810	0.00050949	20.1398	50.1200	0.40183
	<i>D. Slot</i>	286.5	320.0	0.0016085	1.322806	0.00051237	19.5259	50.3061	0.38814

Lampiran 4.8 Perhitungan COP pada kecepatan aliran udara 1,0 m/s

Diketahui:

$$n = 127 \qquad \Delta T_{\max} = 66 \text{ K}$$

$$Q_{\max} = 43 \text{ W}$$

$$V = 9,0 \text{ V} \qquad I = 4,51 \text{ A}$$

$$R = 1,996 \Omega$$

Berikut adalah contoh perhitungan nilai COP kecepatan udara 1,0 m/s pada waktu 1 menit menggunakan heatsink *extrude*:

Suhu sisi Dingin (K):

$$T_c = (T_{1a} + T_{1b}) / 2$$

$$= (13,93 \text{ }^\circ\text{C} + 15,9 \text{ }^\circ\text{C}) / 2$$

$$= 14,9 \text{ }^\circ\text{C} = 288,1 \text{ }^\circ\text{K}$$

Suhu sisi Panas (K):

$$T_h = (T_{2a} + T_{2b}) / 2$$

$$= (33,93 \text{ }^\circ\text{C} + 31,8 \text{ }^\circ\text{C}) / 2$$

$$= 32,9 \text{ }^\circ\text{C} = 306,0 \text{ }^\circ\text{K}$$

Figur of Merit (/K):

$$Z = \Delta T_{\max} / 0,5 T_c^2$$

$$= 66 \text{ }^\circ\text{K} / (0,5 \times 288,1^2 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$= 0,0015907 \text{ /K}$$

Konduktivitas termal termoelektrik (WK^{-1}):

$$K = \frac{Q_{\max}}{(0,5 \times Z \times T_c^2 - (T_h - T_c))}$$

$$= 43 \text{ W} / (0,5 \times 0,0015907 \text{ /K} \times 288,1^2 \text{ }^\circ\text{K} - (306,0 \text{ }^\circ\text{K} - 288,1 \text{ }^\circ\text{K}))$$

$$= 0,894901 \text{ WK}^{-1}$$

Koefisien *Seebeck* (V/K):

$$\alpha_{pn} = \sqrt{Z \times K \times R} / n^2$$

$$= \sqrt{(0,0015907 \text{ /K} \times 0,894901 \text{ WK}^{-1} \times 1,99 \Omega)} / 127^2$$

$$= 0,00041909 \text{ V/K}$$

Panas pada terminal dingin (W):

$$Q_c = n (\alpha_{pn}) T_c I - K (T_h - T_c) - 0,5 I^2 R$$

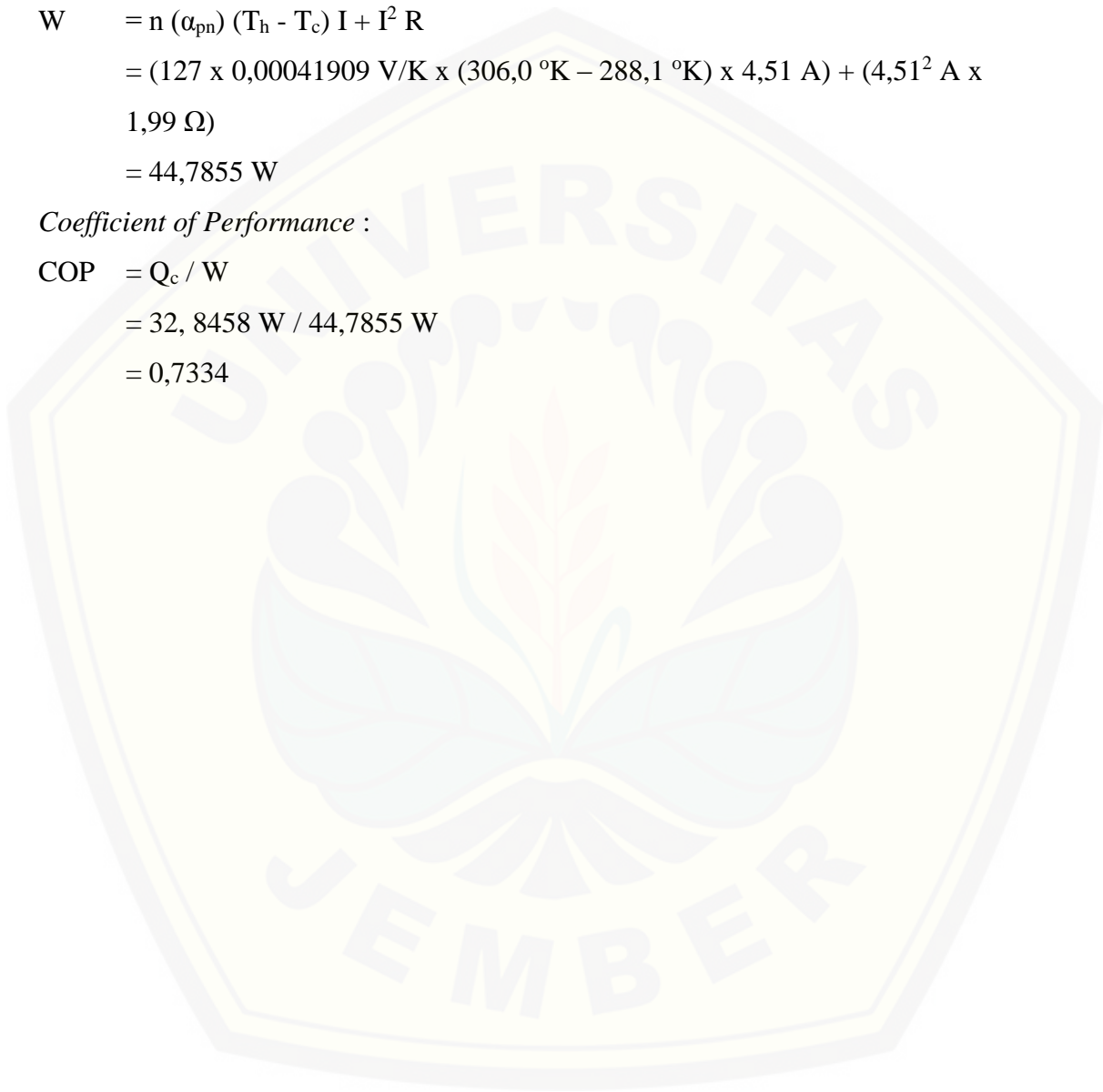
$$\begin{aligned} &= (127 \times 0,00041909 \text{ V/K} \times 288,1^\circ\text{K} \times 4,51 \text{ A}) - (0,883562 \text{ WK}^{-1} \times \\ &(306,0^\circ\text{K} - 288,1^\circ\text{K})) - (0,5 \times 4,51^2 \text{ A} \times 1,99 \Omega) \\ &= 32,8458 \text{ W} \end{aligned}$$

Daya yang diperlukan (W) :

$$\begin{aligned} W &= n (\alpha_{pn}) (T_h - T_c) I + I^2 R \\ &= (127 \times 0,00041909 \text{ V/K} \times (306,0^\circ\text{K} - 288,1^\circ\text{K}) \times 4,51 \text{ A}) + (4,51^2 \text{ A} \times \\ &1,99 \Omega) \\ &= 44,7855 \text{ W} \end{aligned}$$

Coefficient of Performance :

$$\begin{aligned} \text{COP} &= Q_c / W \\ &= 32,8458 \text{ W} / 44,7855 \text{ W} \\ &= 0,7334 \end{aligned}$$



Waktu (Menit)	Tipe Heatsink	Tc (K)	Th (K)	Z (/K)	K (WK1)	α_{pn} (V/K)	Qc (W)	W (W)	COP
0	<i>Extrude</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
	<i>Slot</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
	<i>D. Slot</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
1	<i>Extrude</i>	288.1	306.0	0.0015907	0.894901	0.00041909	32.8458	44.7855	0.73340
	<i>Slot</i>	288.7	307.4	0.0015839	0.909732	0.00042164	32.4376	45.0010	0.72082
	<i>D. Slot</i>	288.5	308.4	0.0015861	0.932755	0.00042724	31.7948	45.3465	0.70115
2	<i>Extrude</i>	287.7	308.5	0.0015949	0.951327	0.00043267	31.2683	45.6315	0.68524
	<i>Slot</i>	287.2	308.8	0.0016003	0.968468	0.00043729	30.7764	45.8869	0.67070
	<i>D. Slot</i>	286.3	311.1	0.0016110	1.044534	0.00045564	28.5276	46.9578	0.60752
3	<i>Extrude</i>	286.9	308.8	0.0016041	0.976348	0.00043958	30.5484	46.0054	0.66402
	<i>Slot</i>	286.4	310.0	0.0016093	1.013354	0.00044856	29.4621	46.5315	0.63316
	<i>D. Slot</i>	285.4	312.3	0.0016208	1.100636	0.00046914	26.8049	47.7136	0.56179
4	<i>Extrude</i>	286.0	309.8	0.0016141	1.019924	0.00045068	29.2666	46.6307	0.62762
	<i>Slot</i>	285.9	310.5	0.0016145	1.036561	0.00045440	28.7682	46.8577	0.61395
	<i>D. Slot</i>	284.9	312.8	0.0016264	1.129647	0.00047612	25.8942	48.0948	0.53840
5	<i>Extrude</i>	285.4	310.1	0.0016205	1.039778	0.00045595	28.6713	46.9130	0.61116
	<i>Slot</i>	285.4	311.0	0.0016202	1.062515	0.00046086	27.9811	47.2159	0.59262
	<i>D. Slot</i>	284.6	313.0	0.0016301	1.144683	0.00047981	25.4172	48.2913	0.52633
6	<i>Extrude</i>	285.3	309.8	0.0016221	1.037853	0.00045575	28.7293	46.8902	0.61269
	<i>Slot</i>	285.2	311.0	0.0016224	1.068323	0.00046244	27.8035	47.2973	0.58785
	<i>D. Slot</i>	284.3	312.9	0.0016329	1.149784	0.00048130	25.2546	48.3615	0.52220

7	<i>Extrude</i>	284.9	310.4	0.0016258	1.060318	0.00046119	28.0482	47.1985	0.59426
	<i>Slot</i>	284.9	311.1	0.0016263	1.079046	0.00046530	27.4740	47.4461	0.57906
	<i>D. Slot</i>	284.1	312.9	0.0016358	1.155396	0.00048290	25.0752	48.4380	0.51768
8	<i>Extrude</i>	284.6	310.5	0.0016301	1.073658	0.00046469	27.6398	47.3836	0.58332
	<i>Slot</i>	284.2	311.2	0.0016342	1.101999	0.00047138	26.7624	47.7612	0.56034
	<i>D. Slot</i>	284.0	312.8	0.0016372	1.156951	0.00048342	25.0255	48.4604	0.51641
9	<i>Extrude</i>	284.1	310.6	0.0016354	1.088332	0.00046862	27.1871	47.5870	0.57131
	<i>Slot</i>	283.5	310.9	0.0016424	1.112549	0.00047481	26.4325	47.9148	0.55166
	<i>D. Slot</i>	283.8	312.7	0.0016391	1.159082	0.00048415	24.9572	48.4914	0.51467
10	<i>Extrude</i>	283.9	310.7	0.0016381	1.096473	0.00047075	26.9345	47.6985	0.56468
	<i>Slot</i>	282.8	311.0	0.0016507	1.138872	0.00048161	25.6020	48.2678	0.53042
	<i>D. Slot</i>	283.4	313.0	0.0016437	1.181373	0.00048947	24.2391	48.7758	0.49695
15	<i>Extrude</i>	283.4	311.0	0.0016438	1.119096	0.00047641	26.2270	48.0016	0.54638
	<i>Slot</i>	282.3	311.8	0.0016565	1.178567	0.00049079	24.3299	48.7738	0.49883
	<i>D. Slot</i>	283.0	313.0	0.0016476	1.193340	0.00049253	23.8507	48.9306	0.48744
20	<i>Extrude</i>	283.2	311.2	0.0016455	1.130538	0.00047908	25.8661	48.1505	0.53719
	<i>Slot</i>	282.5	311.8	0.0016546	1.173741	0.00048950	24.4858	48.7099	0.50269
	<i>D. Slot</i>	283.1	313.1	0.0016468	1.193119	0.00049236	23.8578	48.9259	0.48763
25	<i>Extrude</i>	282.9	310.4	0.0016492	1.115194	0.00047635	26.3496	47.9640	0.54936
	<i>Slot</i>	282.5	312.3	0.0016538	1.186152	0.00049197	24.0842	48.8594	0.49293
	<i>D. Slot</i>	282.8	313.0	0.0016511	1.203358	0.00049511	23.5239	49.0600	0.47949
30	<i>Extrude</i>	282.9	310.4	0.0016497	1.118336	0.00047711	26.2509	48.0054	0.54683
	<i>Slot</i>	282.7	312.5	0.0016519	1.188392	0.00049214	24.0115	48.8816	0.49122
	<i>D. Slot</i>	282.7	313.1	0.0016515	1.208431	0.00049621	23.3579	49.1217	0.47551

35	<i>Extrude</i>	283.0	310.6	0.0016476	1.118497	0.00047683	26.2458	48.0026	0.54676
	<i>Slot</i>	282.3	312.3	0.0016564	1.192788	0.00049372	23.8686	48.9463	0.48765
	<i>D. Slot</i>	282.7	313.3	0.0016523	1.214975	0.00049767	23.1433	49.2018	0.47038
40	<i>Extrude</i>	282.7	310.2	0.0016515	1.116883	0.00047705	26.2965	47.9909	0.54795
	<i>Slot</i>	282.5	312.4	0.0016544	1.190586	0.00049297	23.9402	48.9147	0.48943
	<i>D. Slot</i>	282.8	313.0	0.0016509	1.202573	0.00049492	23.5496	49.0501	0.48011
45	<i>Extrude</i>	282.3	310.5	0.0016563	1.135813	0.00048177	25.6990	48.2423	0.53271
	<i>Slot</i>	282.5	312.4	0.0016546	1.192788	0.00049346	23.8686	48.9418	0.48769
	<i>D. Slot</i>	283.0	313.2	0.0016480	1.200335	0.00049403	23.6227	49.0157	0.48194
50	<i>Extrude</i>	282.2	310.6	0.0016579	1.143617	0.00048366	25.4511	48.3444	0.52645
	<i>Slot</i>	282.4	312.6	0.0016556	1.203414	0.00049580	23.5221	49.0723	0.47934
	<i>D. Slot</i>	282.9	313.4	0.0016499	1.214061	0.00049713	23.1733	49.1847	0.47115
55	<i>Extrude</i>	282.0	310.7	0.0016598	1.153846	0.00048610	25.1248	48.4768	0.51828
	<i>Slot</i>	282.2	312.6	0.0016572	1.207469	0.00049687	23.3894	49.1251	0.47612
	<i>D. Slot</i>	282.6	313.8	0.0016534	1.236224	0.00050218	22.4424	49.4558	0.45379
60	<i>Extrude</i>	282.0	310.5	0.0016594	1.145989	0.00048439	25.3756	48.3777	0.52453
	<i>Slot</i>	282.3	312.7	0.0016569	1.207696	0.00049687	23.3820	49.1271	0.47595
	<i>D. Slot</i>	282.7	313.5	0.0016517	1.221938	0.00049901	22.9143	49.2828	0.46495

Lampiran 4.9 Perhitungan COP pada kecepatan aliran udara 1,5 m/s

Diketahui:

$$n = 127 \qquad \Delta T_{\max} = 66 \text{ K}$$

$$Q_{\max} = 43 \text{ W}$$

$$V = 9,0 \text{ V} \qquad I = 4,51 \text{ A}$$

$$R = 1,996 \Omega$$

Berikut adalah contoh perhitungan nilai COP kecepatan udara 1,5 m/s pada waktu 1 menit menggunakan heatsink *extrude*:

Suhu sisi Dingin (K):

$$T_c = (T_{1a} + T_{1b}) / 2$$

$$= (14,40 \text{ }^\circ\text{C} + 17,43 \text{ }^\circ\text{C}) / 2$$

$$= 15,92 \text{ }^\circ\text{C} = 289,1 \text{ }^\circ\text{K}$$

Suhu sisi Panas (K):

$$T_h = (T_{2a} + T_{2b}) / 2$$

$$= (31,57 \text{ }^\circ\text{C} + 34,93 \text{ }^\circ\text{C}) / 2$$

$$= 33,25 \text{ }^\circ\text{C} = 306,4 \text{ }^\circ\text{K}$$

Figur of Merit (/K):

$$Z = \Delta T_{\max} / 0,5 T_c^2$$

$$= 66 \text{ }^\circ\text{K} / (0,5 \times 306,4^2 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$= 0,0015797 / \text{K}$$

Konduktivitas termal termoelektrik (WK^{-1}):

$$K = \frac{Q_{\max}}{(0,5 \times Z \times T_c^2 - (T_h - T_c))}$$

$$= 43 \text{ W} / (0,5 \times 0,0015797 / \text{K} \times 306,4^2 \text{ }^\circ\text{K} - (306,4 \text{ }^\circ\text{K} - 289,1 \text{ }^\circ\text{K}))$$

$$= 0,883562 \text{ WK}^{-1}$$

Koefisien *Seebeck* (V/K) :

$$\alpha_{pn} = \sqrt{Z \times K \times R} / n^2$$

$$= \sqrt{(0,0015797 / \text{K} \times 0,883562 \text{ WK}^{-1} \times 1,99 \Omega)} / 127^2$$

$$= 0,00041498 \text{ V/K}$$

Panas pada terminal dingin (W) :

$$Q_c = n (\alpha_{pn}) T_c I - K (T_h - T_c) - 0,5 I^2 R$$

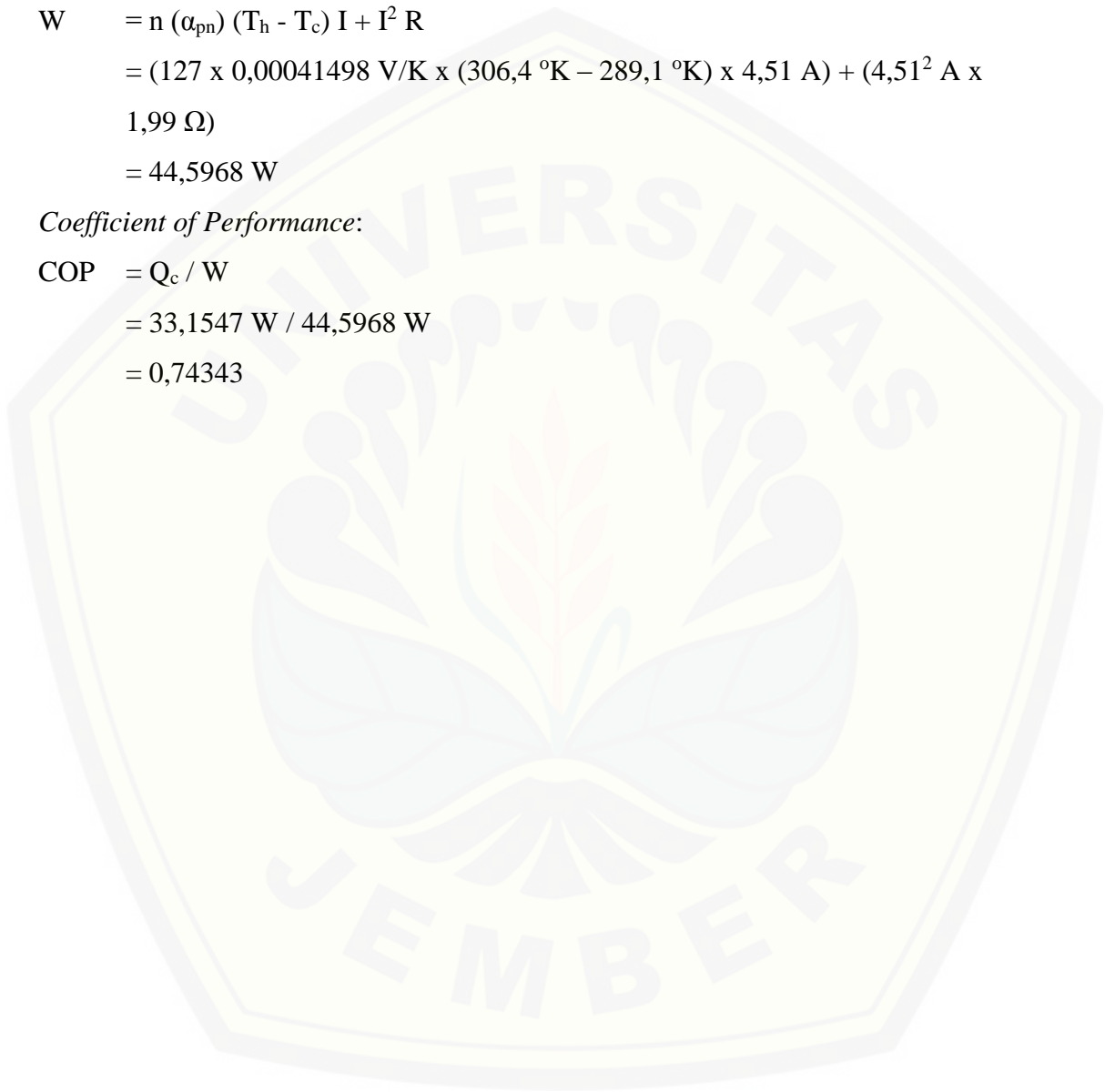
$$\begin{aligned} &= (127 \times 0,00041498 \text{ V/K} \times 289,1 \text{ }^\circ\text{K} \times 4,51 \text{ A}) - (0,883562 \text{ WK}^{-1} \times \\ &(306,4 \text{ }^\circ\text{K} - 289,1 \text{ }^\circ\text{K})) - (0,5 \times 4,51^2 \text{ A} \times 1,99 \text{ } \Omega) \\ &= 33,1547 \text{ W} \end{aligned}$$

Daya yang diperlukan (W):

$$\begin{aligned} W &= n (\alpha_{pn}) (T_h - T_c) I + I^2 R \\ &= (127 \times 0,00041498 \text{ V/K} \times (306,4 \text{ }^\circ\text{K} - 289,1 \text{ }^\circ\text{K}) \times 4,51 \text{ A}) + (4,51^2 \text{ A} \times \\ &1,99 \text{ } \Omega) \\ &= 44,5968 \text{ W} \end{aligned}$$

Coefficient of Performance:

$$\begin{aligned} \text{COP} &= Q_c / W \\ &= 33,1547 \text{ W} / 44,5968 \text{ W} \\ &= 0,74343 \end{aligned}$$



Waktu (Menit)	Tipe	Tc (K)	Th (K)	Z (/K)	K (WK ⁻¹)	α_{pn} (V/K)	Q _c (W)	W (W)	COP
0	<i>Extrude</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
	<i>Slot</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
	<i>D. Slot</i>	301.2	301.2	-	-	-	-	-	-
1	<i>Extrude</i>	289.1	306.4	0.0015797	0.883562	0.00041498	33.1547	44.5968	0.74343
	<i>Slot</i>	289.4	307.6	0.0015759	0.898986	0.00041808	32.7338	44.8275	0.73022
	<i>D. Slot</i>	288.7	311.1	0.0015835	0.984733	0.00043863	30.3045	46.0877	0.65754
2	<i>Extrude</i>	286.9	308.0	0.0016040	0.958395	0.00043551	31.0662	45.7485	0.67907
	<i>Slot</i>	285.5	309.7	0.0016192	1.027070	0.00045298	29.0531	46.7383	0.62161
	<i>D. Slot</i>	285.4	313.2	0.0016209	1.125164	0.00047437	26.0358	48.0256	0.54212
3	<i>Extrude</i>	285.9	308.6	0.0016147	0.991545	0.00044445	30.1054	46.2386	0.65109
	<i>Slot</i>	284.1	310.4	0.0016352	1.083078	0.00046746	27.3496	47.5181	0.57556
	<i>D. Slot</i>	283.8	313.5	0.0016393	1.184029	0.00048936	24.1530	48.7968	0.49497
4	<i>Extrude</i>	285.4	308.6	0.0016204	1.004282	0.00044808	29.7307	46.4268	0.64038
	<i>Slot</i>	283.5	310.6	0.0016426	1.106346	0.00047351	26.6267	47.8357	0.55663
	<i>D. Slot</i>	282.9	313.6	0.0016497	1.219282	0.00049817	23.0017	49.2462	0.46708
5	<i>Extrude</i>	284.8	308.5	0.0016272	1.014949	0.00045141	29.4147	46.5872	0.63139
	<i>Slot</i>	283.0	310.8	0.0016486	1.125458	0.00047845	26.0265	48.0934	0.54117
	<i>D. Slot</i>	282.5	313.5	0.0016544	1.227987	0.00050066	22.7148	49.3616	0.46017
6	<i>Extrude</i>	284.5	308.6	0.0016306	1.024623	0.00045403	29.1263	46.7268	0.62333
	<i>Slot</i>	282.8	310.9	0.0016509	1.134515	0.00048071	25.7402	48.2134	0.53388
	<i>D. Slot</i>	281.9	312.9	0.0016614	1.227987	0.00050172	22.7148	49.3805	0.46000

7	<i>Extrude</i>	284.3	308.7	0.0016329	1.032000	0.00045598	28.9053	46.8320	0.61721
	<i>Slot</i>	282.6	311.0	0.0016528	1.142503	0.00048268	25.4866	48.3183	0.52747
	<i>D. Slot</i>	281.7	313.1	0.0016638	1.243973	0.00050534	22.1853	49.5749	0.44751
8	<i>Extrude</i>	284.2	308.8	0.0016347	1.038229	0.00045760	28.7180	46.9200	0.61206
	<i>Slot</i>	282.4	311.1	0.0016556	1.152764	0.00048525	25.1594	48.4531	0.51925
	<i>D. Slot</i>	281.6	312.8	0.0016642	1.232680	0.00050310	22.5597	49.4433	0.45627
9	<i>Extrude</i>	284.2	308.9	0.0016347	1.042003	0.00045843	28.6041	46.9711	0.60897
	<i>Slot</i>	282.3	311.2	0.0016562	1.158041	0.00048645	24.9905	48.5202	0.51505
	<i>D. Slot</i>	281.5	312.7	0.0016656	1.233270	0.00050342	22.5402	49.4540	0.45578
10	<i>Extrude</i>	284.2	308.9	0.0016345	1.040323	0.00045803	28.6548	46.9480	0.61035
	<i>Slot</i>	282.4	311.2	0.0016558	1.155914	0.00048594	25.0587	48.4928	0.51675
	<i>D. Slot</i>	281.5	312.7	0.0016653	1.235336	0.00050380	22.4718	49.4775	0.45418
15	<i>Extrude</i>	283.7	308.3	0.0016399	1.038229	0.00045832	28.7180	46.9303	0.61193
	<i>Slot</i>	282.1	310.9	0.0016585	1.154362	0.00048602	25.1083	48.4802	0.51791
	<i>D. Slot</i>	281.5	313.4	0.0016658	1.259274	0.00050874	21.6753	49.7585	0.43561
20	<i>Extrude</i>	283.6	308.9	0.0016414	1.055646	0.00046237	28.1906	47.1682	0.59766
	<i>Slot</i>	282.2	311.3	0.0016581	1.166787	0.00048857	24.7098	48.6331	0.50809
	<i>D. Slot</i>	281.5	313.6	0.0016653	1.266154	0.00051004	21.4449	49.8365	0.43031
25	<i>Extrude</i>	283.5	308.9	0.0016429	1.061292	0.00046382	28.0185	47.2468	0.59302
	<i>Slot</i>	282.1	311.6	0.0016593	1.179159	0.00049133	24.3107	48.7880	0.49829
	<i>D. Slot</i>	281.7	313.8	0.0016640	1.269269	0.00051048	21.3405	49.8689	0.42793
30	<i>Extrude</i>	283.2	308.9	0.0016455	1.066556	0.00046533	27.8576	47.3220	0.58868
	<i>Slot</i>	281.9	311.2	0.0016611	1.171183	0.00048992	24.5682	48.6945	0.50454
	<i>D. Slot</i>	282.1	313.6	0.0016582	1.242894	0.00050426	22.2211	49.5468	0.44849

35	<i>Extrude</i>	283.3	308.7	0.0016449	1.059113	0.00046362	28.0850	47.2217	0.59475
	<i>Slot</i>	281.9	311.2	0.0016610	1.172301	0.00049015	24.5322	48.7081	0.50366
	<i>D. Slot</i>	282.1	313.6	0.0016585	1.244693	0.00050468	22.1613	49.5689	0.44708
40	<i>Extrude</i>	283.0	308.8	0.0016480	1.068323	0.00046607	27.8035	47.3508	0.58718
	<i>Slot</i>	281.8	311.3	0.0016618	1.175881	0.00049102	24.4167	48.7542	0.50081
	<i>D. Slot</i>	282.1	313.5	0.0016591	1.242296	0.00050428	22.2410	49.5425	0.44893
45	<i>Extrude</i>	283.0	308.8	0.0016480	1.069652	0.00046636	27.7627	47.3684	0.58610
	<i>Slot</i>	281.6	311.3	0.0016644	1.185117	0.00049332	24.1178	48.8736	0.49347
	<i>D. Slot</i>	282.0	313.3	0.0016597	1.237529	0.00050341	22.3991	49.4882	0.45262
50	<i>Extrude</i>	282.9	308.7	0.0016499	1.071874	0.00046712	27.6946	47.4019	0.58425
	<i>Slot</i>	281.7	311.4	0.0016632	1.182456	0.00049259	24.2040	48.8381	0.49560
	<i>D. Slot</i>	282.0	313.5	0.0016595	1.244153	0.00050472	22.1793	49.5653	0.44748
55	<i>Extrude</i>	282.8	308.4	0.0016511	1.065675	0.00046593	27.8845	47.3220	0.58925
	<i>Slot</i>	281.9	311.2	0.0016613	1.173314	0.00049040	24.4995	48.7212	0.50285
	<i>D. Slot</i>	282.1	313.5	0.0016590	1.244993	0.00050482	22.1513	49.5737	0.44684
60	<i>Extrude</i>	282.8	308.8	0.0016505	1.074552	0.00046778	27.6123	47.4386	0.58206
	<i>Slot</i>	281.9	311.3	0.0016626	1.180184	0.00049203	24.2776	48.8088	0.49740
	<i>D. Slot</i>	282.1	313.6	0.0016601	1.248911	0.00050577	22.0210	49.6224	0.44377

Lampiran 4.10 Perhitungan beban pendingin

1. Beban Kalor Dinding

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Panjang}_{\text{kotak}} &= 280 \text{ mm} = 0,28 \text{ m} & \text{Lebar}_{\text{kotak}} &= 180 \text{ mm} = 0,18 \text{ m} \\ \text{Tinggi}_{\text{kotak}} &= 200 \text{ mm} = 0,20 \text{ m} & \text{Tebal}_{\text{kotak}} &= 15 \text{ mm} = 0,015 \text{ m} \\ n_{\text{sudut}} &= 12 & k_{\text{dinding}} &= 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) + \\ & \quad 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\ &= 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\ &= 0,2848 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{dinding}} &= \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\ &= 18,99 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{tepi}} &= 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\ &= 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\ &= 1,4256 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{sudut}} &= n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\ &= 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m}) \\ &= 0,027 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\ &= 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\ &= 20,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (301,6^{\circ}\text{K} - 296,4^{\circ}\text{K}) \\ &= 2,139 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$A_{\text{total}} = 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) +$$

$$\begin{aligned}
 & 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\
 & = 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 0,2848 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{dinding}} & = \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\
 & = 18,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tepi}} & = 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 1,4256 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{sudut}} & = n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m}) \\
 & = 0,027 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{total}} & = S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\
 & = 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\
 & = 20,44 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dinding}} & = k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\
 & = 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (301,6^{\circ}\text{K} - 296,4^{\circ}\text{K}) \\
 & = 2,371 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink double-slot*:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total}} & = 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) + \\
 & \quad 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\
 & = 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 0,2848 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{dinding}} & = \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\
 & = 18,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tepi}} & = 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 1,4256 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{sudut}} & = n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m})
 \end{aligned}$$

$$= 0,027 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\ &= 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\ &= 20,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^\circ\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (301,8 \text{ }^\circ\text{K} - 296,8 \text{ }^\circ\text{K}) \\ &= 2,044 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) + \\ &\quad 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\ &= 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\ &= 0,2848 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{dinding}} &= \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\ &= 18,99 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{tepi}} &= 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\ &= 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\ &= 1,4256 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{sudut}} &= n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\ &= 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m}) \\ &= 0,027 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\ &= 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\ &= 20,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^\circ\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (299,7 \text{ }^\circ\text{K} - 292,2 \text{ }^\circ\text{K}) \\ &= 3,039 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$A_{\text{total}} = 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) +$$

$$\begin{aligned}
 & 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\
 & = 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 0,2848 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{dinding}} & = \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\
 & = 18,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tepi}} & = 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 1,4256 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{sudut}} & = n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m}) \\
 & = 0,027 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{total}} & = S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\
 & = 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\
 & = 20,44 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dinding}} & = k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14}) \\
 & = 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (302,0 \text{ }^{\circ}\text{K} - 292,2 \text{ }^{\circ}\text{K}) \\
 & = 2,575 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink double-slot*:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total}} & = 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) + \\
 & \quad 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\
 & = 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 0,2848 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{dinding}} & = \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\
 & = 18,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tepi}} & = 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 1,4256 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{sudut}} & = n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m})
 \end{aligned}$$

$$= 0,027 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\ &= 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\ &= 20,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^\circ\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (299,9 \text{ }^\circ\text{K} - 293,8 \text{ }^\circ\text{K}) \\ &= 2,494 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) + \\ &\quad 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\ &= 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\ &= 0,2848 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{dinding}} &= \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\ &= 18,99 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{tepi}} &= 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\ &= 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\ &= 1,4256 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{sudut}} &= n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\ &= 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m}) \\ &= 0,027 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\ &= 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\ &= 20,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^\circ\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (299,7 \text{ }^\circ\text{K} - 294,3 \text{ }^\circ\text{K}) \\ &= 2,235 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$A_{\text{total}} = 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) +$$

$$\begin{aligned}
 & 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\
 & = 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 0,2848 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{dinding}} & = \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\
 & = 18,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tepi}} & = 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 1,4256 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{sudut}} & = n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m}) \\
 & = 0,027 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{total}} & = S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\
 & = 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\
 & = 20,44 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dinding}} & = k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\
 & = 0,02 \text{ W/m}^\circ\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (300,8 \text{ }^\circ\text{K} - 294,6 \text{ }^\circ\text{K}) \\
 & = 2,534 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink double-slot*:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total}} & = 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 2 (\text{Lebar}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) + \\
 & \quad 2 (\text{Panjang}_{\text{kotak}} \times \text{Tinggi}_{\text{kotak}}) \\
 & = 2 (0,28 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}) + 2 (0,18 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) + 2 (0,28 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 0,2848 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{dinding}} & = \frac{A_{\text{total}}}{\text{Tebal}_{\text{kotak}}} = 0,2848 \text{ m}^2 / 0,015 \text{ m} \\
 & = 18,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tepi}} & = 4 (0,54 \times \text{Panjang}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Lebar}_{\text{kotak}}) + 4 (0,54 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 4 (0,54 \times 0,28 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,18 \text{ m}) + 4 (0,54 \times 0,20 \text{ m}) \\
 & = 1,4256 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{sudut}} & = n (0,15 \times \text{Tebal}_{\text{kotak}}) \\
 & = 12 (0,15 \times 0,015 \text{ m})
 \end{aligned}$$

$$= 0,027 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\ &= 18,99 \text{ m} + 1,4256 \text{ m} + 0,027 \text{ m} \\ &= 20,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_3 - T_4) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (299,7 \text{ }^{\circ}\text{K} - 293,1 \text{ }^{\circ}\text{K}) \\ &= 2,671 \text{ W} \end{aligned}$$

2. Beban kalor Aluminium

Diketahui :

$$\begin{aligned} m_{\text{aluminium}} &= 0,04 \text{ kg} \\ C_{p\text{aluminium}} &= 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \\ t &= 60 \text{ menit} = 3600 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\ &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0 \text{ }^{\circ}\text{C} - 12,87 \text{ }^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,151 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\ &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0 \text{ }^{\circ}\text{C} - 12,97 \text{ }^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,150 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink double-slot*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\ &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0 \text{ }^{\circ}\text{C} - 13,32 \text{ }^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,146 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 8,89 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,190 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 9,11 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,188 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink double-slot*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 9,55 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,184 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 9,5 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,183 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 8,62 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,193 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink double-slot*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 8,83 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,191 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3. Beban kalor Udara

Diketahui :

$$V_{\text{udara}} = 5,5 \text{ Liter} = 0,0055 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{p\text{udara}} = 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$t = 60 \text{ menit} = 3600 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{udara}} &= \rho V \\ &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,0055 \text{ m}^3 \\ &= 0,0066 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 21,83 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0113 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 21,5 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0119 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 0,5 m/s menggunakan *heatsink double- slot*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 22,4 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0103 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 20,5 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0138 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$Q_{\text{udara}} = m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t$$

$$\begin{aligned} &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 21,73 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0115 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 1,0 m/s menggunakan *heatsink double- slot*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 22,33 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0104 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink extrude*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 20,23 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0142 \text{ W} \end{aligned}$$

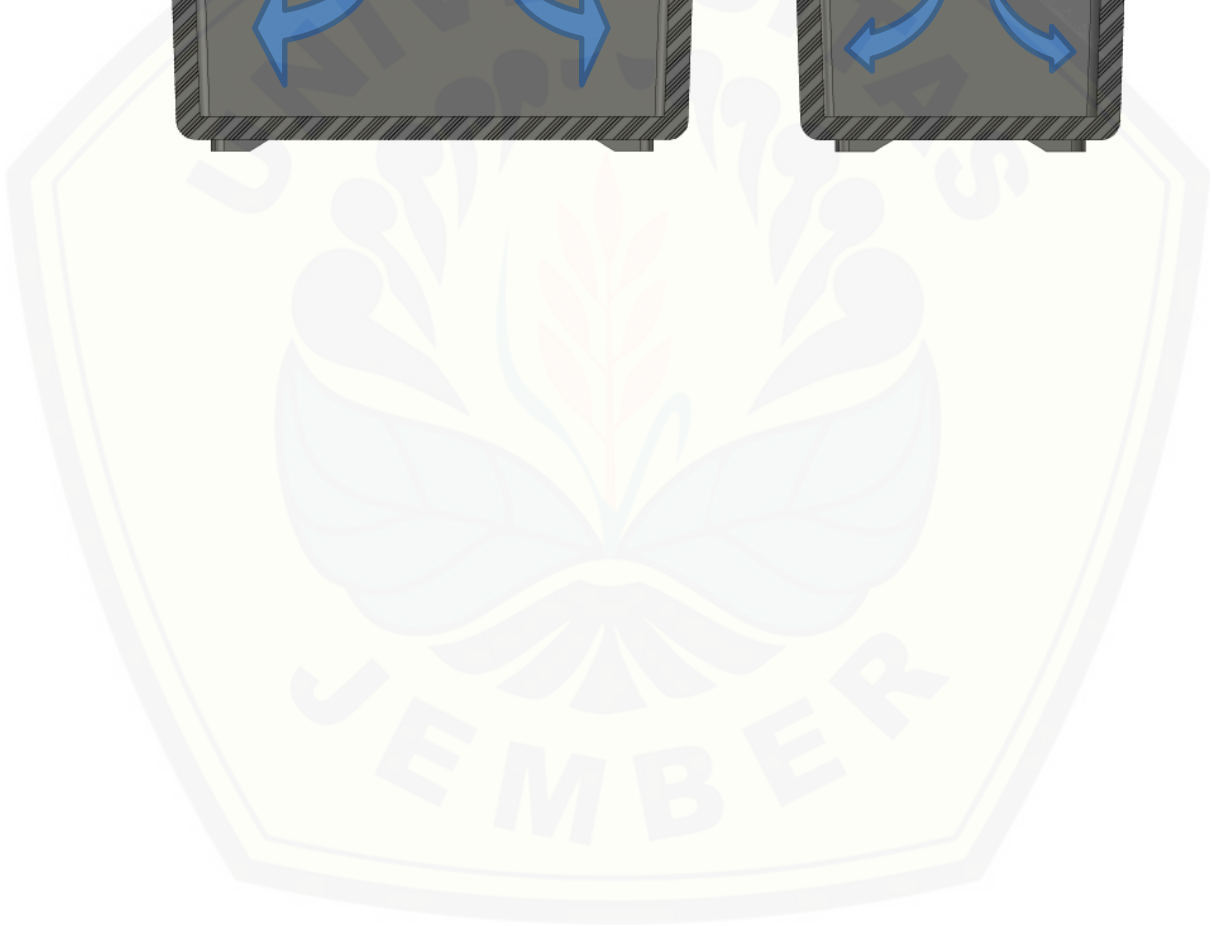
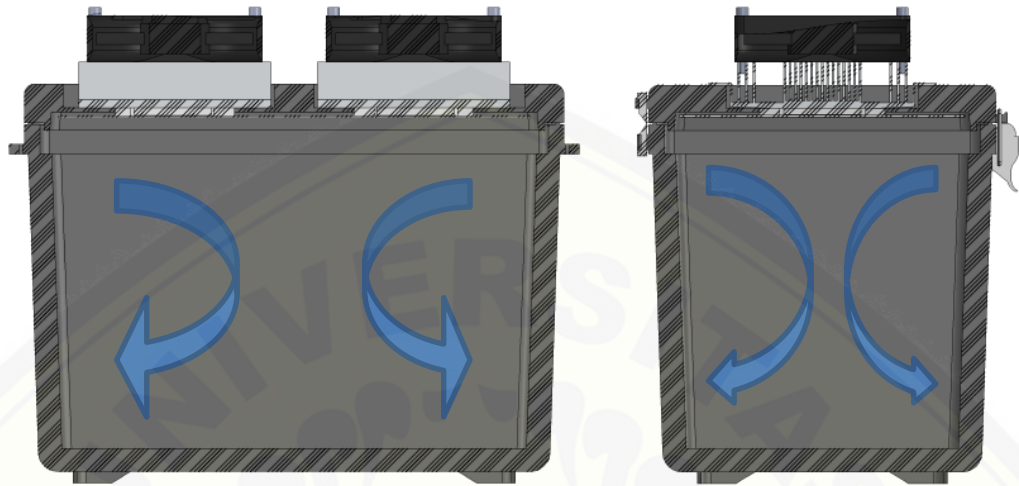
Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink slot*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 20,47 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0138 \text{ W} \end{aligned}$$

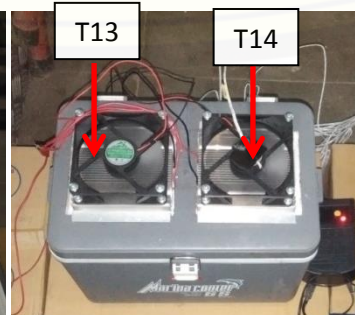
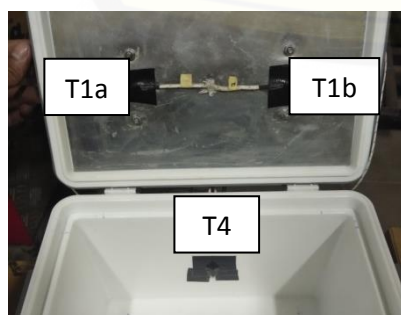
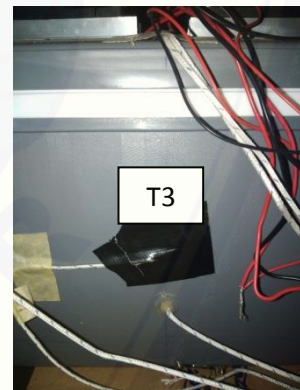
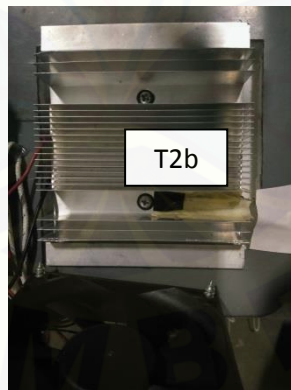
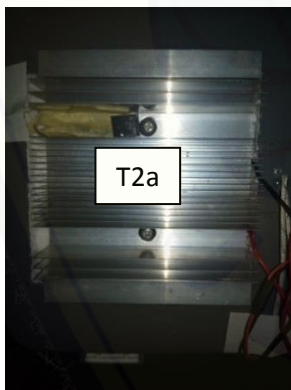
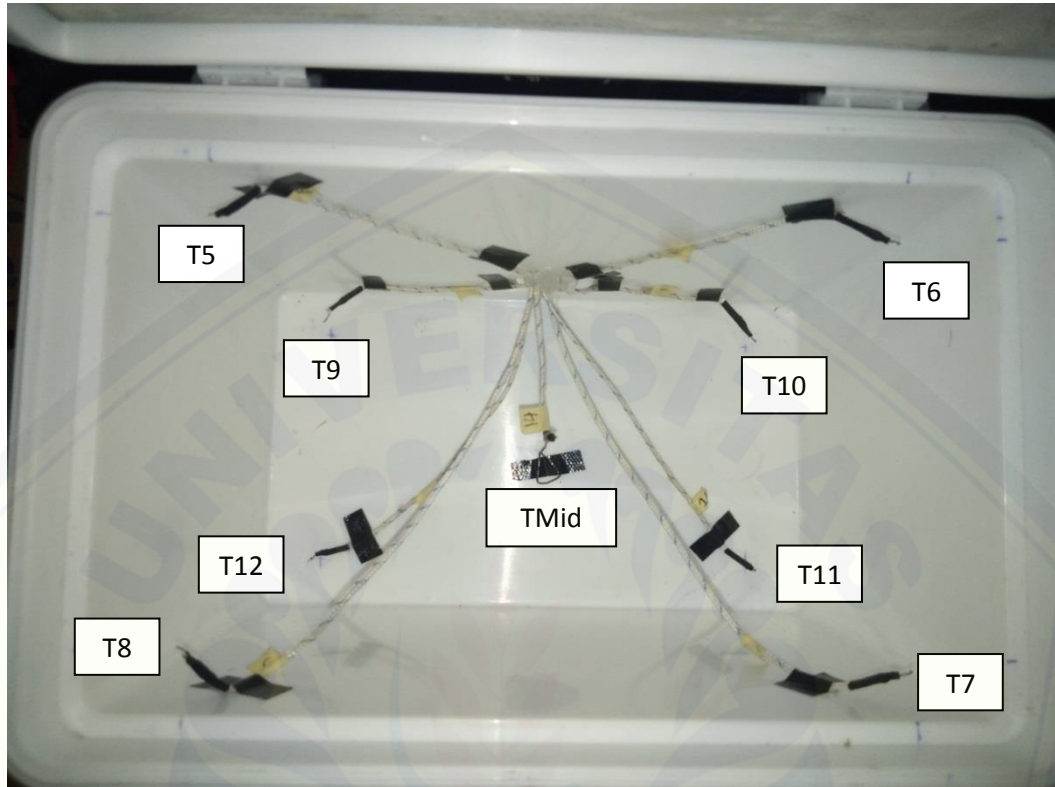
Berikut adalah perhitungan beban kalor udara dengan kecepatan aliran fluida 1,5 m/s menggunakan *heatsink double- slot*:

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\ &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (28,0 \text{ }^\circ\text{C} - 19,9 \text{ }^\circ\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,0149 \text{ W} \end{aligned}$$

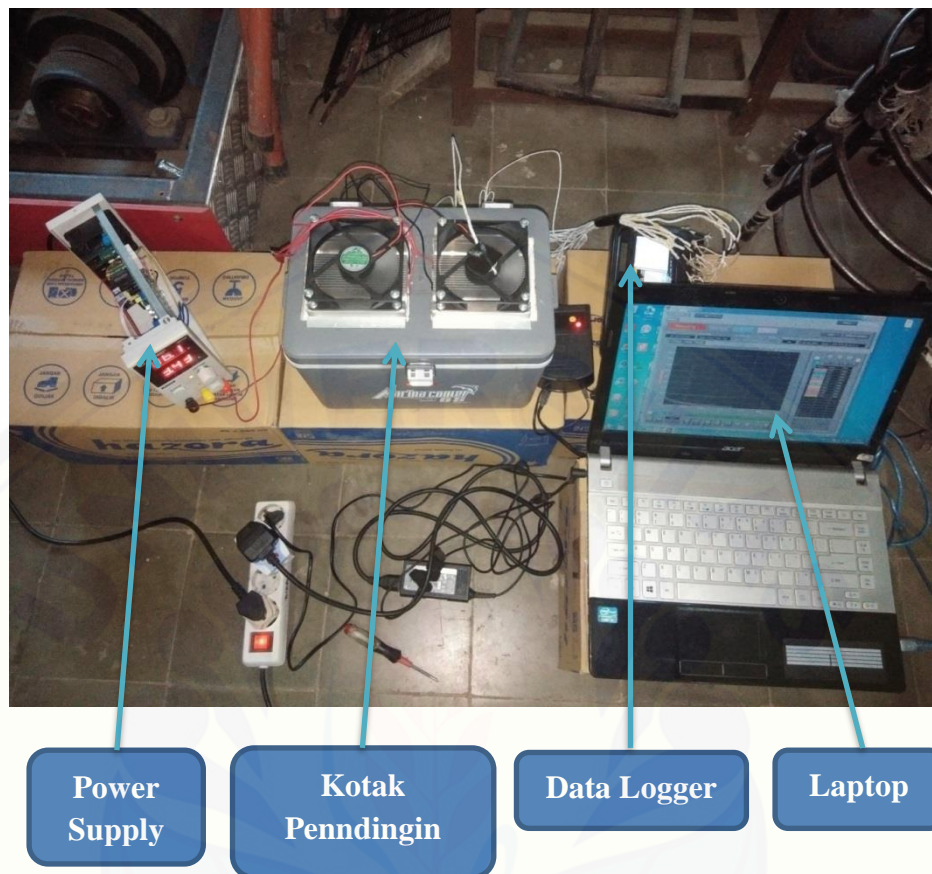
Lampiran 4.11 Sirkulasi udara pada kotak pendingin



Lampiran 4.12 Gambar titik pengambilan data



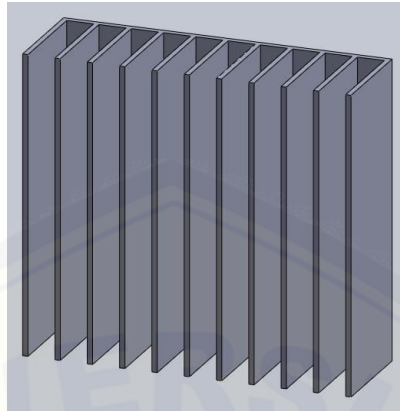
Lampiran 4.13 Gambar alat penelitian



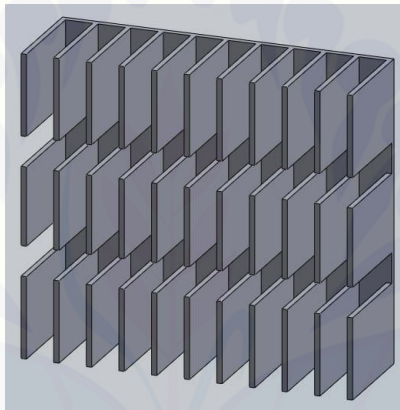
Lampiran 4.14 Gambar kotak pendingin



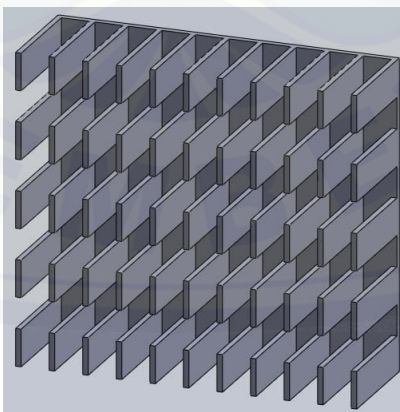
Lampiran 4.15 Gambar *heatsink extrude*



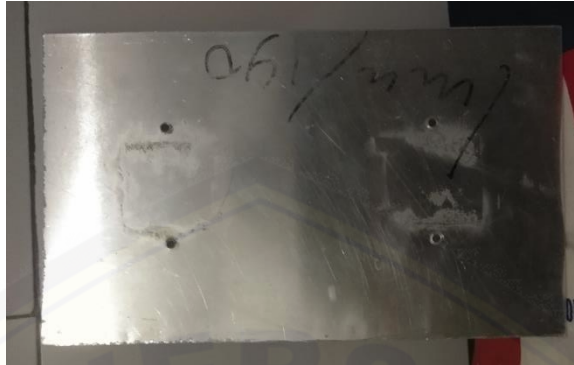
Lampiran 4.16 Gambar *heatsink slot*



Lampiran 4.17 Gambar *heatsink double-slot*



Lampiran 4.18 Gambar *heatsink* sisi dingin TEC



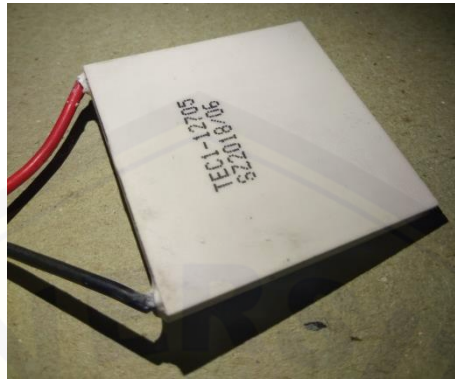
Lampiran 4.19 Gambar *power supply*



Lampiran 4.20 Gambar kipas DC



Lampiran 4.21 Gambar elemen termoelektrik (*peltier*) tipe TEC1-12705



Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric Cooler

TEC1-12705

Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	43	49
Delta Tmax (° C)	66	75
I _{max} (Amps)	5.3	5.3
V _{max} (Volts)	14.2	16.2
Module Resistance (Ohms)	2.40	2.75



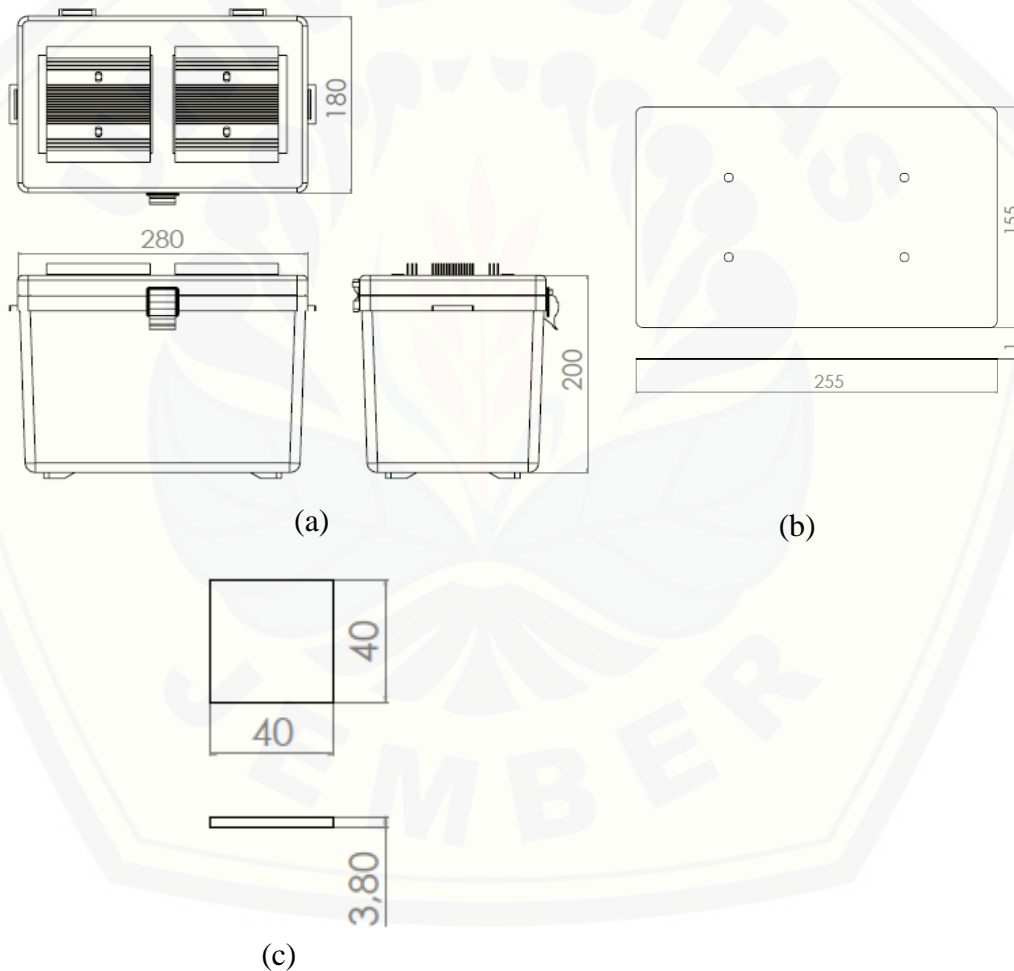
Lampiran 4.22 Gambar Anemometer



Lampiran 4.23 Gambar Data Logger Midi LOGGER GL200A



Lampiran 4.24 Ukuran alat dan bahan



Keterangan :

(a) : Kotak pendingin

(b) : Heatsink sisi dingin,

(c) : Elemen termoelektrik (*peltier*)