



**PENGARUH RANGKAIAN SEL *PELTIER* TERHADAP KINERJA *MINI*
*REFRIGERATOR PORTABLE***

SKRIPSI

Oleh

Gilang Firmansyah

NIM 141910101047

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH RANGKAIAN SEL *PELTIER* TERHADAP KINERJA *MINI*
*REFRIGERATOR PORTABLE***

SKRIPSI

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

Oleh

Gilang Firmansyah

NIM 141910101047

**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. Keluargaku, Ayahanda Ahmad Supriyanto, Ibunda Dewi Sukarsih, Nenek Sittini, Embak Ayu Wandira, 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*, Mas Dirga, Yudha Wiradika, dan Boma Rari Diwangkara yang memberikan pengorbanan waktu dan bantuan serta hiburan “*Push Rank Mobile Legend*” nya ketika pikiran lagi kacau.
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 Apart Squad, HMM FT UJ, BMM, KKN 75 desa Pejaten, serta teman – teman organisasi lainnya yang telah meberikan ilmu yang sangat berharga selama berkuliah di Universitas Jember.
6. Teman – temanku di Sumenep, baik teman TK, SD, SMP, dan SMA serta *special thanks* untuk teman seperjuangan “Muhammad Arif Bashro, S.E.” dan “Novi Nurlailah” yang telah memberi pengalaman kuliah menarik dan unik serta menemani masa kuliah dari semester satu hingga sekarang.
7. Serta seluruh pihak – pihak yang mendukung dan tidak bisa saya sebutkan satu – persatu.

MOTTO

Mainkan dunia ini sebelum kau dimainkan oleh dunia.
(Supriyanto)

Dunia ini ibarat bayangan. Kalau kau berusaha menangkapnya, ia akan lari. Tapi kalau kau membelakanginya, ia tak punya pilihan selain mengikutimu.
(Ibnu Qayyim Al Jauziyyah)

Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.
(QS Al Baqarah 216)

Tidak semua orang akan menghargai kamu meskipun kamu sudah berbuat baik kepada mereka. Buang harapan untuk dihargai oleh siapapun, pasti akhirnya kecewa. Lagipula kamu berbuat baik ya memang karena kamu baik, bukan untuk dihargai. Banyak orang – orang yang tidak menghargai kebaikanmu. Namun walaupun sedemikian tidak dihargainya, kamu tetaplah orang baik.
(Anonim)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gilang Firmansyah

NIM : 141910101047

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Rangkaian Sel *Peltier* Terhadap Kinerja *Mini Refrigerator Portable*” 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, 09 Januari 2019

Yang menyatakan,

Gilang Firmansyah

NIM 141910101047

SKRIPSI

**PENGARUH RANGKAIAN SEL *PELTIER* TERHADAP KINERJA *MINI*
*REFRIGERATOR PORTABLE***

Oleh:

Gilang Firmansyah

NIM 141910101047

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Rangkaian Sel *Peltier* Terhadap Kinerja *Mini Refrigerator Portable*” karya Gilang Firmansyah telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : 09 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng.
NIP 19670708 199412 1 001

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

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

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

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

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

PENGARUH RANGKAIAN SEL *PELTIER* TERHADAP KINERJA *MINI REFRIGERATOR PORTABLE*; Gilang Firmansyah, 141910101047; 2019; 61 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tempat penyimpanan vaksin bisa berupa Kulkas yang memerlukan arus listrik AC untuk pengoperasiannya. Namun jika terjadi hal yang tidak terduga seperti lokasi tujuan imunisasi vaksin tidak terjangkau arus listrik AC atau bencana alam yang dapat mengakibatkan pemadaman arus listrik AC, sehingga pertolongan terhadap masyarakat jadi terkendala. Telatnya pertolongan medis dapat mengakibatkan terjadinya korban jiwa, oleh karena itu dibutuhkan penyimpanan vaksin yang menggunakan arus DC, dengan begitu kita tidak akan tergantung pada arus listrik AC dan bisa membawa vaksin kepada masyarakat yang membutuhkan.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode percobaan yang dilakukan dilaboratorium dengan menjadikan penelitian terdahulu sebagai referensi untuk melakukan percobaan dengan variasi rangkaian elemen termoelektrik (*Peltier*). Hasil penelitian kemudian dianalisa dan konsultasi dengan dosen pembimbing penelitian. Penelitian ini menggunakan 2 buah elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan variasi rangkaian elemen *Peltier* seri dan paralel pada kotak pendingin *polyurethane* 5,5 L (280 x 180 x 200) mm dengan pemberian daya yang tetap yaitu untuk rangkaian seri dan paralel sebesar 20 W, 30 W, dan 40 W sedangkan pengambilan data dilakukan selama 60 menit.

Suhu pada kotak pendingin dengan variasi TEC rangkaian paralel lebih rendah daripada TEC rangkaian Seri. Hal ini ditunjukkan dari hasil penyebaran suhu pada kotak pendingin, perhitungan beban pendingin, dan nilai COP. Terbukti pendinginan maksimal pada kotak pendingin dengan pemberian daya 20 W, 30 W, dan 40 W pada rangkaian seri masing-masing 19,93 °C, 19,53 °C, dan 18,77 °C sedangkan pada rangkaian paralel masing-masing 19,40 °C, 18,50 °C, dan 16,97 °C. Hal ini disebabkan suhu yang dihasilkan pada variasi TEC rangkaian

paralel lebih rendah dari TEC rangkaian seri, mengindikasikan pada TEC rangkaian paralel arus listrik (I) yang masuk pada TEC lebih besar.

Pemberian daya yang lebih tinggi pada TEC rangkaian seri atau paralel akan menghasilkan nilai COP yang lebih kecil. Nilai COP TEC rangkaian paralel pada menit ke 1 – menit ke 3 lebih kecil dari TEC rangkaian seri, namun pada menit ke 60 perbedaan nilai COP antara TEC rangkaian seri dan TEC rangkaian paralel tidak terlalu besar. Perbedaan nilai COP pada menit ke 1 – menit ke 3 mengindikasikan arus listrik (I) yang diberikan kepada TEC rangkaian paralel lebih besar sehingga suhu yang dihasilkan lebih cepat mengalami penurunan daripada TEC rangkaian seri.

Efisiensi tertinggi pada TEC rangkaian paralel adalah 25,84% dengan daya input pada sistem 20 W dan beban pendingin sebesar 5,17 W, sedangkan efisiensi tertinggi pada TEC rangkaian seri adalah 20,74% dengan daya input pada sistem 20 W dan beban pendingin sebesar 4,15 W. Efisiensi terendah pada TEC rangkaian paralel adalah 15,54% dengan daya input 40 W dan beban pendingin sebesar 6,22 W, sedangkan efisiensi terendah pada TEC rangkaian seri adalah 13,48% dengan daya input 40 W dan beban pendingin sebesar 5,39 W. TEC rangkaian paralel memiliki efisiensi yang lebih baik dari TEC rangkaian seri, mengindikasikan pada TEC rangkaian paralel arus listrik (I) yang diberikan lebih besar dari TEC rangkaian seri mengakibatkan suhu dingin yang dihasilkan oleh TEC rangkaian paralel lebih rendah, sehingga suhu pada beban pendinginan *Thermoelectric Refrigerator* TER lebih rendah dan mengakibatkan ΔT beban pendingin TEC rangkaian paralel yang lebih besar dari ΔT beban pendingin TEC rangkaian seri.

SUMMARY

THE EFFECT OF PELTIER CELLS ON PERFORMANCE MINI REFRIGERATOR PORTABLE; Gilang Firmansyah, 141910101047; 2019; 61 Pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Vaccine storage can be a refrigerator that requires AC electricity to operate. However, if something unexpected happens, such as the location of vaccine immunization destination is not reached by AC electricity or natural disasters that can cause blackouts of AC power, so that assistance to the community becomes constrained. The late medical assistance can result in fatalities, therefore we need to store vaccines that use DC currents, so that we will not depend on AC electricity and can bring vaccines to the people who need them.

The research method used is the experimental method carried out in the laboratory by making the previous research as a reference for conducting experiments with a variety of thermoelectric (Peltier) elements. The results of the study were then analyzed and consulted with the research supervisor. This study uses 2 thermoelectric elements (Peltier) with variations in the series of Peltier series and parallel elements in a polyurethane cooler 5.5 L (280 x 180 x 200) mm with a fixed power supply that is for series and parallel circuits 20 W, 30 W, and 40 W while data collection is done for 60 minutes.

The temperature in the cooler with the parallel TEC variation is lower than the Series TEC. This is indicated by the results of the temperature distribution in the cooler, cooling load calculation, and COP value. Proven maximum cooling in the cooler with the power of 20 W, 30 W, and 40 W in the series respectively 19.93 °C, 19.53 °C, and 18.77 °C while in parallel circuits respectively 19,40 °C , 18.50 °C, and 16.97 °C. This is because the temperature produced in the variation of the TEC parallel circuit is lower than the series TEC, indicating that in the TEC the parallel circuit of electric current (I) entering the TEC is greater.

Giving higher power to a series or parallel TEC will result in a smaller COP value. The COP TEC value of the parallel circuit at minute 1 to 3 minutes is smaller than the series TEC, but in the 60th minute the difference in COP values between the series TEC and the parallel circuit TEC is not too large. The difference in the value of COP at minute 1 to 3 indicates the electrical current (I) given to the TEC of the parallel circuit is greater so that the resulting temperature decreases faster than the series TEC.

The highest efficiency in parallel circuit TEC is 25.84% with input power in the 20 W system and cooling load of 5.17 W, while the highest efficiency in the series circuit TEC is 20.74% with input power in the 20 W system and cooling load of 4.15 W. The lowest efficiency in the parallel circuit TEC is 15.54% with input power of 40 W and cooling load of 6.22 W, while the lowest efficiency in the series circuit TEC is 13.48% with input power of 40 W and cooling load for 5.39 W. TEC parallel circuits have better efficiency than TEC series circuits, indicating at the TEC the parallel circuit electric current (I) given is greater than the TEC series resulting in the cold temperature produced by the TEC parallel circuit lower, so temperature at Thermoelectric cooling load TERM Refrigerator is lower and results in ΔT of the parallel circuit TEC cooling load greater than in T of the serial circuit TEC load.

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. Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
2. Hary Sutjahjono, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I, Moch. Edoward R., S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
3. Sumarji, S.T., M.T., 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, 01 Januari 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	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.3.1 Tujuan	4
1.3.2 Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 <i>Performance Tests of Refrigerated Fish Container for Fish Retailers.....</i>	6
2.1.2 Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan Obat-	

Obatan.....	8
2.1.3 <i>Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance</i>	9
2.2 Konsep Dasar	10
2.3 Efek Termoelektrik.....	10
2.4 Efek <i>Seebeck</i>	11
2.5 Efek <i>Peltier</i>.....	13
2.6 Modul Termolektrik	14
2.6.1 Konduktivitas Panas Diantara Dua Sambungan	
Termoelektrik (K).....	16
2.6.2 Koefisien Seebeck Bahan (α_{pn}).....	16
2.6.3 COP (<i>Coefficient of Performance</i>)	17
2.7 Elemen <i>Peltier</i>	18
2.8 Prinsip Kerja Elemen <i>Peltier</i>	19
2.9 Kipas DC.....	21
2.10 <i>Heatsink</i>.....	22
2.11 Perpindahan Kalor Konduksi.....	23
2.12 Beban Pendinginan	23
2.13 Perpindahan Kalor Bentuk.....	24
2.14 Daya Listrik.....	25
2.15 Efisiensi Pendinginan Sistem	25
2.16 Hipotesis.....	26
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.2.1 Alat dan Instrumen Penelitian.....	27
3.2.2 Bahan Penelitian	27
3.3 Metode Penelitian.....	29
3.4 Prosedur Penelitian.....	29
3.4.1 Persiapan Alat Pengujian	29
3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian	29

3.4.3 Tahapan Pengambilan Data	29
3.5 Rangkaian <i>Portable Mini Refrigerator</i>	30
3.6 Variabel.....	32
3.6.1 Variabel Bebas	32
3.6.2 Variabel Terikat	33
3.6.3 Variabel Kontrol	33
3.7 Diagram Alir.....	34
3.8 Tabel Pengukuran.....	35
BAB 4. PEMBAHASAN	37
4.1 Data Hasil Penelitian	37
4.1.1 Data Hasil Penelitian Pada Rangkaian Seri	37
4.1.2 Data Hasil Penelitian Pada Rangkaian Paralel	38
4.2 Kemampuan Pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC).....	38
4.3 Kemampuan Pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) pada Rangkaian Seri dan paralel.....	44
4.4 Perhitungan Beban Pendingin	50
4.5 Perhitungan COP (<i>Coefficient of Performance</i>)	56
4.6 Perhitungan Efisiensi Pendinginan Sistem.....	58
BAB 5. PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Tabel pengukuran percobaan pada variasi Elemen termoelektrik (<i>Peltier</i>) dengan rangkaian seri.....	35
Tabel 3.2 Tabel pengukuran percobaan pada variasi Elemen termoelektrik (<i>Peltier</i>) dengan rangkaian paralel	36
Tabel 4.1 Data hasil penelitian TEC rangkaian seri	37
Tabel 4.2 Data hasil penelitian TEC rangkaian paralel	38
Tabel 4.3 Beban kalor dinding	51
Tabel 4.4 Beban kalor aluminium	52
Tabel 4.5 Beban kalor udara.....	53
Tabel 4.6 Beban kalor vaksin	53
Tabel 4.7 Total beban pendingin pada <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER) rangkaian seri.....	54
Tabel 4.8 Total beban pendingin pada <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER) rangkaian paralel	55
Tabel 4.9 Nilai efisiensi pendinginan sistem <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER) ...	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Suhu ruang penyimpanan ikan dalam kondisi kosong pada uji coba pertama (a), uji coba kedua (b), dan uji coba ketiga (c)	6
Gambar 2.2 Suhu ikan selama uji coba pada menggunakan <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER)	7
Gambar 2.3 Suhu ikan selama uji coba menggunakan kotak styrofoam	7
Gambar 2.4 Grafik hasil pengukuran temperatur (sumber: Putra dkk., 2015).....	8
Gambar 2.5 Grafik COP terhadap waktu	9
Gambar 2.6 Perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas yang menyebabkan aliran arus (efek <i>Seebeck</i>).....	12
Gambar 2.7 Aliran arus yang menyebabkan perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas (efek <i>Peltier</i>).....	13
Gambar 2.8 Termoelectric Cooler (TEC) Tipe TEC1-12705	14
Gambar 2.9 Skematik diagram modul termoelektik <i>Peltier</i>	15
Gambar 2.10 Prinsip kerja elemen <i>Peltier</i>	19
Gambar 2.11 Sistem pendingin <i>Peltier</i>	20
Gambar 2.12 Kipas DC	21
Gambar 2.13 <i>Heatsink</i>	22
Gambar 3.1 Elemen termoelektrik (<i>Peltier</i>).....	28
Gambar 3.2 Kotak pendingin	28
Gambar 3.3 Skema rangkaian <i>mini refrigerator portable</i>	30
Gambar 3.4 Titik pengukuran temperatur	31
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 4.1 Grafik kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W.....	39
Gambar 4.2 Grafik kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W.....	40
Gambar 4.3 Grafik kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W.....	41
Gambar 4.4 Grafik kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W	42

Gambar 4.5 Grafik kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W	43
Gambar 4.6 Grafik kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W	43
Gambar 4.7 Grafik penyebaran pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W	45
Gambar 4.8 Grafik penyebaran pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W	46
Gambar 4.9 Grafik penyebaran pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W	46
Gambar 4.10 Grafik penyebaran pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W	47
Gambar 4.11 Grafik penyebaran pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W	48
Gambar 4.12 Grafik penyebaran pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W	49
Gambar 4.13 Grafik perbandingan beban pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri dan paralel	56
Gambar 4.14 Perbandingan nilai COP <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER) pada rangkaian seri	57
Gambar 4.15 Perbandingan nilai COP <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER) pada rangkaian paralel	57
Gambar 4.16 Perbandingan nilai efisiensi pendinginan sistem <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER).....	59

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 4.1 Data hasil percobaan <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER) pada variasi <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian seri	65
Lampiran 4.2 Data hasil percobaan <i>Thermoelectric Refrigerator</i> (TER) pada variasi <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) rangkaian paralel	66
Lampiran 4.3 Data kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) pada variasi rangkaian seri.....	67
Lampiran 4.4 Data kemampuan pendinginan <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) pada variasi rangkaian paralel.....	68
Lampiran 4.5 Perhitungan COP pada rangkaian seri	69
Lampiran 4.6 Perhitungan COP pada rangkaian paralel.....	74
Lampiran 4.7 Perhitungan beban pendingin	79
Lampiran 4.8 Sirkulasi udara pada kotak pendingin	93
Lampiran 4.9 Gambar titik pengambilan data	87
Lampiran 4.10 Gambar alat penelitian.....	88
Lampiran 4.11 Gambar kotak pendingin	88
Lampiran 4.12 Gambar <i>heatsink</i> sisi panas TEC	89
Lampiran 4.13 Gambar <i>heatsink</i> sisi dingin TEC	89
Lampiran 4.14 Gambar <i>power supply</i>	89
Lampiran 4.15 Gambar kipas DC.....	90
Lampiran 4.16 Gambar elemen termoelektrik (<i>peltier</i>) tipe TEC1-12705	90
Lampiran 4.17 Gambar vaksin.....	91
Lampiran 4.18 Gambar Tachometer	91
Lampiran 4.19 Gambar Data <i>Logger</i> Midi LOGGER GL200A.....	91
Lampiran 4.20 Ukuran alat dan bahan	92

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Vaksin sangat dibutuhkan untuk menjaga kesehatan masyarakat, pada saat ini telah dilaksanakan banyak pemberian vaksin terhadap anak-anak agar sistem kekebalan tubuh lebih kuat. Contoh pemberian vaksin seperti Vaksin Rubella (MR) untuk meningkatkan kekebalan tubuh terhadap penyakit campak yang sering digunakan untuk imunisasi. Vaksin merupakan komponen utama dalam pelaksanaan imunisasi. “Untuk mencapai tujuan imunisasi secara maksimal, maka perlu ditunjang dengan pengelolaan dan ketersediaan vaksin dalam jumlah cukup, berkualitas serta tepat waktu” (Anonim, 2005).

Tempat penyimpanan vaksin bisa berupa Kulkas yang memerlukan arus listrik AC untuk pengoperasiannya. Namun jika terjadi hal yang tidak terduga seperti lokasi tujuan imunisasi vaksin tidak terjangkau arus listrik AC atau bencana alam yang dapat mengakibatkan pemadaman arus listrik AC, sehingga pertolongan terhadap masyarakat jadi terkendala. Telatnya pertolongan medis dapat mengakibatkan terjadinya korban jiwa, oleh karena itu dibutuhkan penyimpanan vaksin yang menggunakan arus DC, dengan begitu kita tidak akan tergantung pada arus listrik AC dan bisa membawa vaksin kepada masyarakat yang membutuhkan.

Kotak pendingin (*cooling box*) dapat digunakan sebagai media penyimpanan vaksin dalam jumlah yang cukup pada proses imunisasi. Namun vaksin memerlukan kondisi suhu penyimpanan khusus agar kualitas vaksin tetap terjaga agar tidak rusak “Vaksin yang rusak jika diberikan kepada sasaran tidak dapat menimbulkan kekebalan. Oleh karena itu sangat penting untuk menjaga rantai dingin vaksin karena setelah potensi vaksin hilang tidak dapat dipulihkan kembali” (UNICEF, 2010).

Kotak penyimpanan vaksin dengan teknologi pendinginan termoelektrik dapat menjadi alternatif sebagai penyimpanan vaksin dengan menggunakan arus listrik DC. Teknologi pendinginan termoelektrik (*thermoelectric cooling*) disebut juga elemen *Peltier*. Nulhakim (2017) menyatakan, “Sistem kerja dari

Thermoelectric Cooler (TEC) terjadi ketika arus DC dialirkan ke elemen *Peltier* yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dan semikonduktor tipe n dengan tingkat energi yang lebih tinggi, akan mengakibatkan sisi semikonduktor tipe p elemen *Peltier* menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi semikonduktor tipe n menjadi panas (kalor dilepaskan)".

Elemen *Peltier* dapat berfungsi sebagai pompa kalor. Komponen ini banyak digunakan sebagai pendingin, misalnya dispenser, pendingin processor komputer dan lainnya. Elemen *Peltier* mempunyai bentuk yang kompak dan dapat diaplikasikan dengan daya yang relatif kecil (Sugiyanto, 2008).

Jugsujida (2010) menyatakan "Penggunaan TEC pada kotak pendingin selama 60 menit menghasilkan suhu pada kotak pendingin menurun dari 30 °C ke 20 °C. Sedangkan pada sisi dingin TEC menghasilkan penurunan suhu dari 30 °C ke - 4.2 °C dan mengalami kenaikan suhu dari 30°C ke 50°C pada sisi panas TEC".

Putra dkk (2015) menyatakan "Pengujian temperatur kotak pendingin menggunakan TEC diperoleh hasil temperatur sebesar 18,4 °C dengan beban 0 ml, 18,6 °C dengan beban 100 ml, 18,8 °C dengan beban 250 ml, dan 18,9 °C dengan beban 500 ml dengan pengujian selama 120 menit".

Wahyu dkk (2016) menyatakan "Pemakaian elemen *Peltier* pada alat sistem pendingin bervolume 100 L memberikan hasil yang baik jika diterapkan pada beban pendinginan yang kecil. Temperatur beban pendingin terendah yaitu 13⁰C yang dicapai dengan waktu 40 menit, sedangkan temperatur air hangat yang dicapai yaitu sebesar 45⁰C sewaktu temperatur ruangan terendah stasioner".

Aziz dkk (2016) menyatakan "Penggunaan modul TEC pada kotak pendingin tanpa beban pendingin menghasilkan capaian temperatur terendah 14,3 °C dan temperatur 16,4 °C dengan beban air 1 L pada pendinginan selama 150 menit. Makin banyak modul TEC yang diaplikasikan makin besar beban kalor yang dapat diserap, dan capaian temperatur ruang menjadi lebih rendah".

Pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada kotak pendingin dapat menurunkan suhu. Nulhakim (2017) menyatakan "Pada Pendingin berbasis

Thermoelectric Cooler (TEC) dengan ukuran 8 x 8 x 15 cm mampu menghasilkan temperatur dingin hingga 20 °C. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan beberapa *Thermoelectric Cooler* (TEC) agar tercapai temperatur yang lebih rendah”. Sehingga ada kemungkinan penelitian lebih lanjut dapat menghasilkan suhu yang lebih rendah.

Perlunya penelitian lebih lanjut dengan tujuan agar mutu vaksin dapat dipertahankan atau tidak kehilangan potensi, aman / tidak hilang, dan terhindar dari kerusakan fisik. Menggunakan teknologi pendinginan termoelektrik (*thermoelectric cooling*) untuk membuat kotak pendingin mini untuk menyimpan vaksin sehingga mudah dibawa bepergian dengan tetap menjaga kualitas vaksin dengan waktu yang cukup lama. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti berkeinginan melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Rangkaian Sel *Peltier* Terhadap Kinerja *Mini Refrigerator Portable*” Penelitian ini menggunakan rangkaian sel *Peltier* seri dan paralel pada kotak pendingin (*Thermoelectric Refrigerator/TER*), perbedaan rangkaian sel *paltier* akan menghasilkan suhu yang berbeda pada kotak pendingin sehingga kita bisa mengetahui efisiensi penurunan suhu terbaik yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel terhadap suhu pada kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER)?
2. Bagaimana pengaruh variasi *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel terhadap *Coefficient of Performance* (COP) kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER)?
3. Bagaimana efisiensi pendinginan sistem pada kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER) dengan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel terhadap suhu pada kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER).
2. Mengetahui pengaruh variasi *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel terhadap *Coefficient of Performance* (COP) kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER).
3. Mengetahui efisiensi pendinginan sistem pada kotak pendingin *Thermoelectric Refrigerator* (TER) dengan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel.

1.3.2 Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan mengenai termoelektrik sebagai perndingin.
2. Sebagai informasi pembuatan *mini refrigerator portable* dengan variasi perbedaan rangkaian sel *Peltier* termoelektrik.

3. Menambah pengetahuan mengenai mesin *mini refrigerator portable* sebagai alat penyimpan vaksin.
4. Menambah Informasi mengenai pengaruh variasi rangkaian sel *Peltier* panas terhadap *Coefficient of Performance* (COP) termoelektrik.
5. Menambah Informasi mengenai pengaruh suhu pada *heatsink* termoelektrik ketika termoelektrik 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:

Temperatur dinding kotak pendingin dianggap sama.

1. Perpindahan panas dari *heatsink* ke lingkungan diabaikan.
2. Sistem terisolasi sempurna.
3. Suhu pada lingkungan dianggap sama 28 °C
4. Suhu dan tegangan listrik pada termoelektrik menggunakan hasil rata-rata.
5. Daya dan kecepatan putaran kipas dianggap tetap.

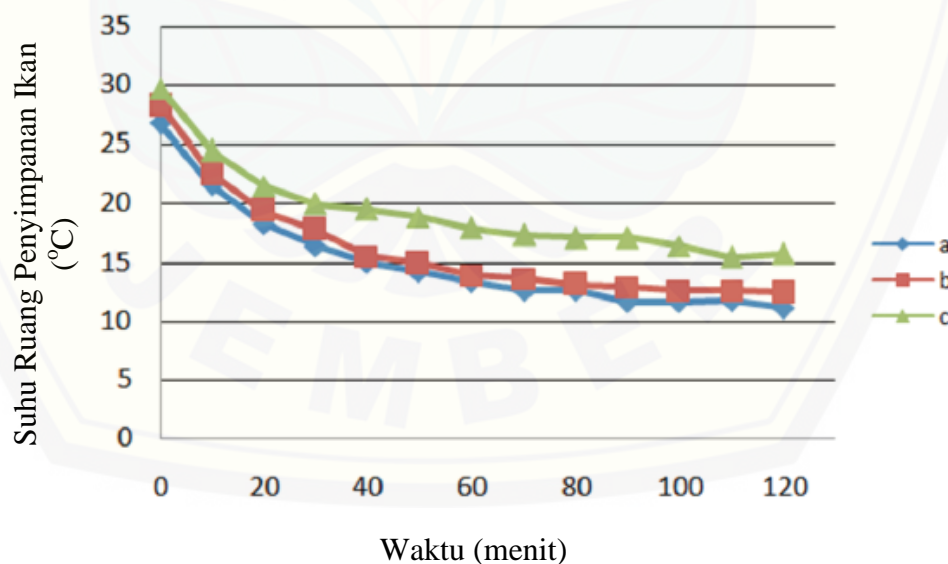
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

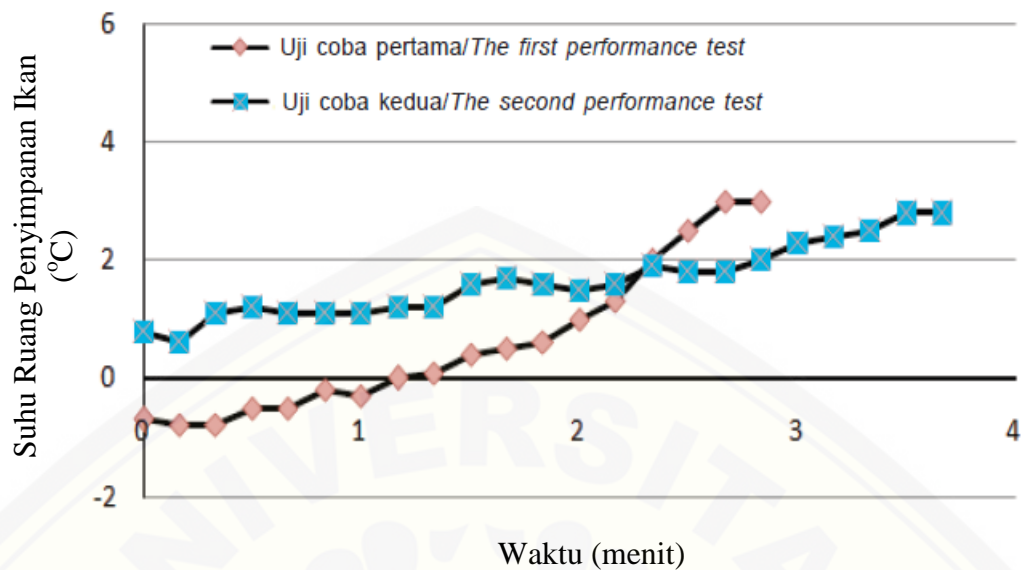
Penelitian – penelitian terdahulu mengenai perpindahan panas *Thermoelectric Cooler* (TEC) telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut.

2.1.1 Performance Tests of Refrigerated Fish Container for Fish Retailers

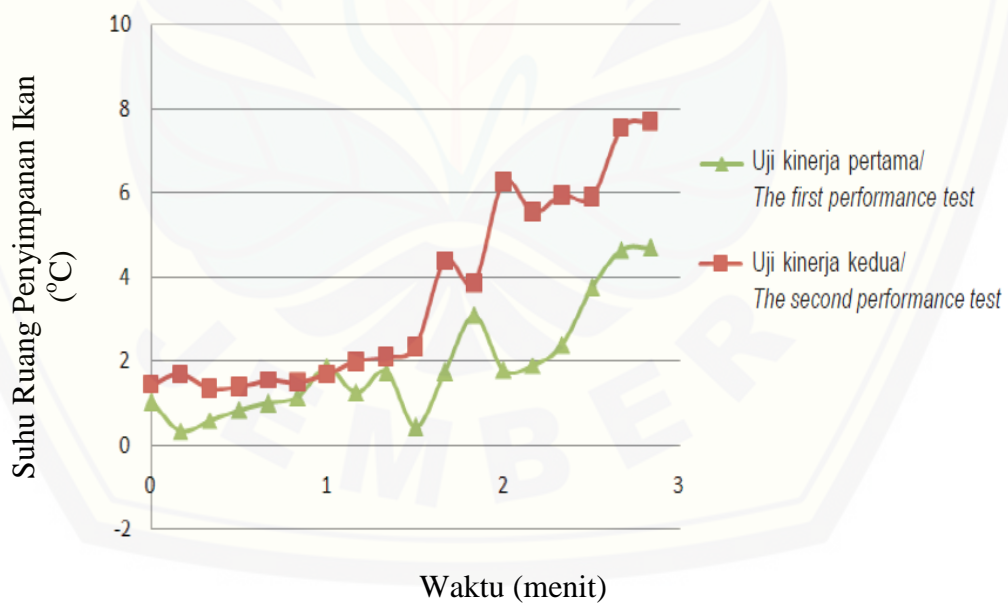
Penelitian ini dilakukan oleh Widiyanto dkk. (2014) menunjukkan bahwa *Thermoelectric Refrigerator* (TER) dapat mempertahankan suhu ikan di bawah 3 °C selama 3,8 jam. Percobaan pertama dengan mengamati suhu ruang peti ikan dalam kondisi kosong (tanpa ikan) yang dilakukan setiap 10 menit selama 2 jam. Percobaan kedua dilakukan dengan cara mengamati proses penjualan ikan menggunakan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) selama 3 hingga 4 jam. Suhu ikan diukur setiap 10 menit, sedangkan mutu kesegaran ikan diamati pada awal dan akhir percobaan.



Gambar 2.1 Suhu ruang penyimpanan ikan dalam kondisi kosong pada uji coba pertama (a), uji coba kedua (b), dan uji coba ketiga (c) (sumber: Widiyanto dkk., 2014)



Gambar 2.2 Suhu ikan selama uji coba pada menggunakan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) (sumber: Widiyanto dkk., 2014)



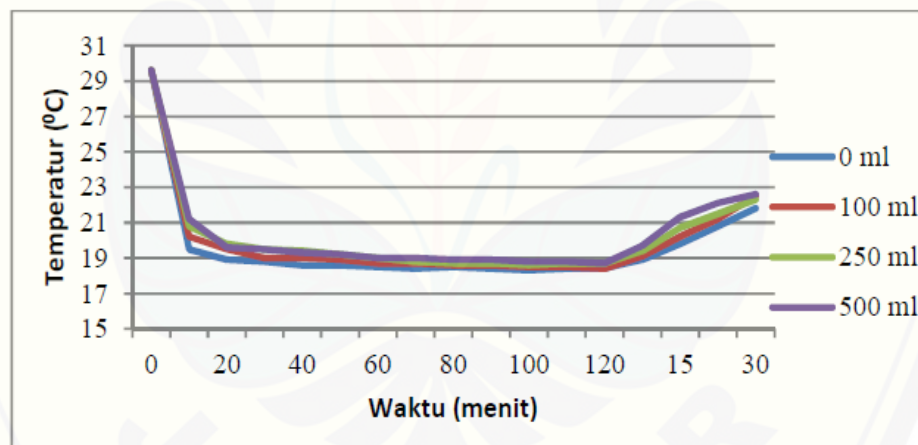
Gambar 2.3 Suhu ikan selama uji coba menggunakan kotak *styrofoam* (sumber: Widiyanto dkk., 2014)

Dari Gambar 2.1 dapat diketahui suhu penyimpanan ikan dalam kondisi kosong selama 120 menit mencapai 11,1–15,5 °C. Pada Gambar 2.2 suhu ruang

penyimpanan ikan saat menggunakan *Thermoelectric Refrigerator* (TER) dapat mempertahankan suhu ikan di bawah 3 °C selama 3,4 jam, sedangkan pada Gambar 2.3 kotak pendingin *styrofoam* suhu ikan dicapai antara suhu 4 °C - 8 °C selama 2,5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa peti ikan segar berpendingin dapat mempertahankan mutu ikan segar selama proses penjualan ikan secara eceran.

2.1.2 Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan Obat-Obatan

Percobaan ini dilakukan oleh Putra dkk (2015) dengan menggunakan *Thermoelectric Cooler* (TEC) sebagai pendingin pada kotak penyimpanan vaksin. Pada penelitian ini dilakukan 4 kali percobaan yaitu pendinginan dengan tanpa beban pendingin, pemberian beban 100 ml vaksin, 250 ml vaksin, dan 500 ml vaksin.

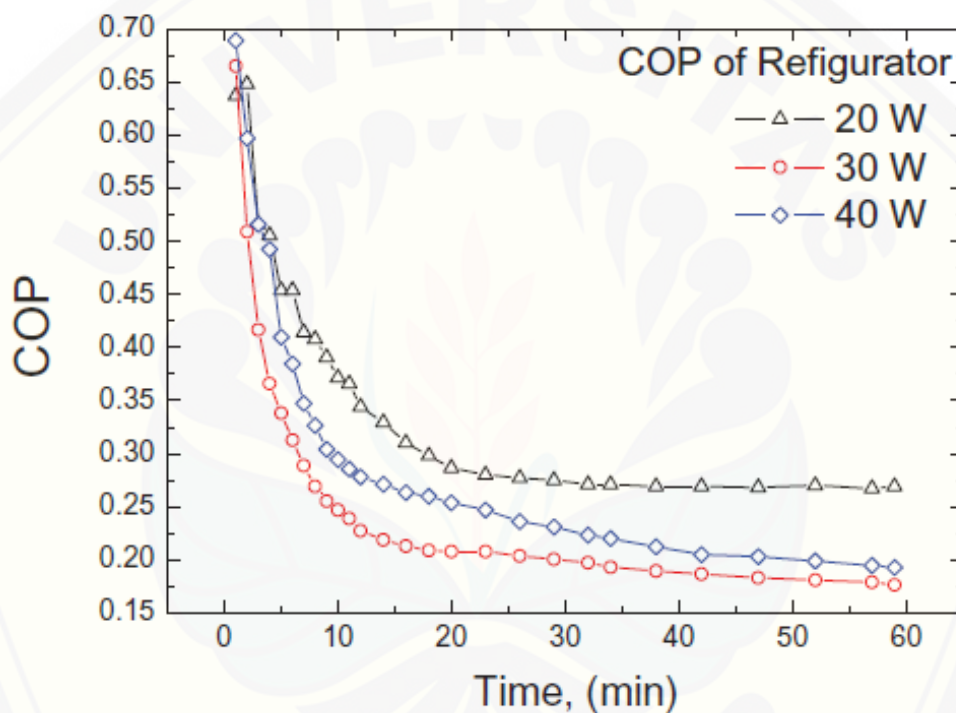


Gambar 2.4 Grafik hasil pengukuran temperatur (sumber: Putra dkk., 2015)

Dari grafik pada Gambar 2.4 dapat dilihat penurunan temperatur yang signifikan pada waktu 1 menit - 20 menit. Selanjutnya dengan penurunan perlahan didapatkan suhu pada menit ke 120 adalah 18,4°C. Setelah menit ke 120 alat dimatikan dan berada dalam kondisi off selama 30 menit dengan temperatur yang dicapai yaitu 21,8°C. Dari nilai tersebut terlihat kemampuan isolasi kabin untuk menahan kenaikan temperatur pada kondisi off sebesar 3,4°C.

2.1.3 Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance

Penelitian ini dilakukan oleh Jugsujinda dkk. (2010) dengan menggunakan variabel perbedaan arus dan tegangan yang berbeda-beda sehingga menghasilkan penurunan COP seiring dengan lama waktu pendinginan. Media perpindahan temperatur panas yang digunakan pada penelitian ini adalah udara dari kipas dan *heatsink* dari sisi panas elemen termoelektrik ke lingkungan tanpa beban pendinginan.



Gambar 2.5 Grafik COP terhadap waktu (sumber: Jugsujinda dkk., 2010)

Dari Gambar 2.5 terdapat 3 variabel daya listrik yang berbeda-beda, pada daya listrik 20 W nilai COP tidak mengalami perubahan yang besar pada menit ke 20 sampai 60 menit. Untuk daya 30 W dan 40 W nilai COP mengalami penurunan seiring dengan lamanya waktu pendinginan. Tingginya daya listrik yang diberikan akan mempengaruhi nilai COP, dikarenakan temperatur pada sisi panas termoelektrik akan semakin tinggi jika daya listrik yang diberikan juga tinggi. Oleh karena itulah nilai COP pada daya listrik 20 W tinggi dan cenderung normal.

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 *mini refrigerator portable* peyimpan vaksin. Sumber energi TEC adalah arus listrik DC, sehingga *mini refrigerator portable* 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 Efek Termoelektrik

Ketika dua buah kawat yang berbeda material disambungkan dan salah satu sisinya dipanaskan akan menimbulkan aliran arus yang terus menerus. Perbedaan temperatur yang terjadi antara dua buah konduktor berbeda material akan menghasilkan perbedaan tegangan antara dua substansi tersebut. Fenomena yang ditimbulkan ini disebut dengan efek *Seebeck*. Efek *Seebeck* memiliki dua aplikasi utama yaitu termasuk pengukuran suhu dan power generation. Fenomena ini merupakan dasar dari penemuan selanjutnya yang disebut dengan efek *Peltier*.

Efek *Peltier* merupakan kebalikan dari *Seebeck* yaitu aliran elektron dari rangkaian *Seebeck* dibalik untuk menghasilkan refrigerasi (Colin, 2011). Efek *Peltier* di temukan oleh Jean *Peltier* yaitu fenomena dimana energi panas dapat diserap pada salah satu sambungan konduktor berbeda material dan dilepaskan pada sambungan lainnya ketika arus listrik dialirkan pada rangkaian tertutup, diperlihatkan pada Gambar 2.7. Efek *Peltier* melibatkan lintasan dari arus listrik yang melewati *thermocouple* menghasilkan pemanasan atau pendinginan. Konversi energi listrik menjadi *gradient* suhu menggunakan divais termoelektrik disebut dengan pendingin *Peltier* (*Peltier cooling*) (Lee, 2013).

Pada sambungan antara dua buah konduktor berbeda jenis pada Gambar 2.7 akan terjadi proses panas disebarkan atau diserap pada unit waktu yang proporsional dengan arus dan koefisien *Peltier* (Rajput, 2009):

$$Q_p = \Pi_{ab} \times I \quad (2.1)$$

Dengan:

Q_p = Panas yang disebar atau diserap pada unit waktu (W)

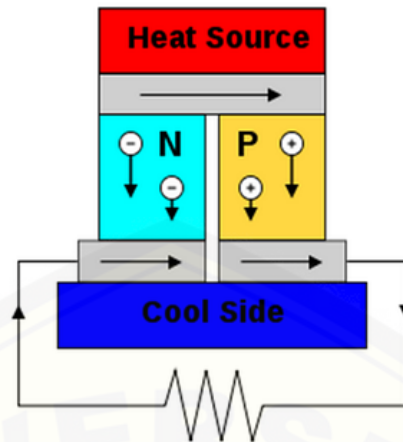
$\Pi_{ab} = (\pi_a - \pi_b) =$ Koefisien *Peltier*

$I =$ Arus (A)

Efek *Peltier* dikendalikan oleh koefisien *Peltier*, yang didefinisikan sebagai koefisien *Seebeck* dari material semikonduktor dan suhu mutlak. Koefisien *Peltier* dihubungkan dengan efek pendinginan sebagai arus yang melewati material tipe N ke material tipe P, dan efek panas ketika arus lewat dari material tipe P ke material tipe N. Dengan membalikan arah arus saat ini maka akan membalik temperatur dari ujung panas dan dinginnya. Idealnya, banyaknya panas yang diserap pada sisi dingin dan dibuang pada sisi panas bergantung pada nilai dari koefisien *Peltier* dan aliran arus yang dibawa material semikonduktor. Secara praktik jumlah yang bersih dari panas yang diserap pada ujung yang dingin karena efek *Peltier* akan mengalami penurunan atau pengurangan karena perbedaan temperatur antara ujung yang dingin dan panas dari material semikonduktor, panas akan dikonduksikan melalui material semikonduktor ujung yang panas ke ujung yang dingin (Riffat, 2003).

2.4 Efek *Seebeck*

Penemuan pertama kali terkait dengan termoelektrik terjadi pada tahun 1821, seorang fisikawan Jerman yang bernama *Thomas Johan Seebeck* melakukan eksperimen dengan menggunakan dua material logam yang berbeda yaitu tembaga dan besi. Kedua logam itu dirangkai menjadi sebuah sambungan dimana salah satu sisi logam dipanaskan dan sedangkan satu sisi logam yang lainnya tetap dijaga pada suhu konstan sehingga arus akan mengalir pada rangkaian tersebut seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas yang menyebabkan aliran arus (efek *Seebeck*) (Sumber: Poetro dkk., 2013)

Arus listrik yang mengalir akan mengindikasikan adanya beda potensial antara ujung-ujung kedua sambungan. Jarum kompas yang sebelumnya telah diletakan diantara dua plat tersebut ternyata mengalami penyimpangan atau bergerak hal ini disebabkan adanya medan magnet yang dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yaitu medan magnet yang timbul karena adanya listrik pada logam. gerak listrik tersebut dikenal dengan GGL termal *Seebeck*. Hubungan temperatur dan GGL termal *Seebeck* dapat dicari dengan Persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$E_s = \alpha_{pn} (T_h - T_c) \quad (2.2)$$

Dengan:

E_s = GGL termal *Seebeck* (V)

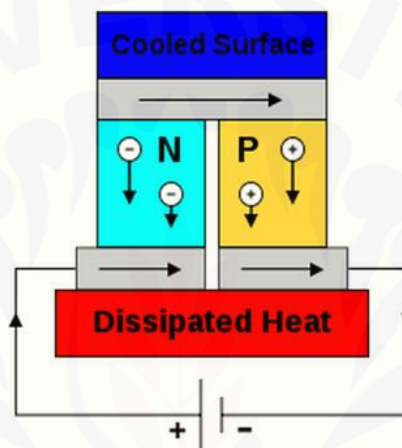
α_{pn} = Koefisien *Seebeck* (V/K)

T_h = Temperatur panas (K)

T_c = Temperatur dingin (K)

2.5 Efek Peltier

Pada tahun 1834 seorang fisikawan bernama *Jean Charles Athanase Peltier*, menyelidiki kembali eksperimen dari efek *Seebeck*. *Peltier* menemukan kebalikan dari fenomena *Seebeck* yaitu ketika arus listrik mengalir pada suatu rangkaian dari material logam yang berbeda terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya seperti pada Gambar 2.7. Pelepasan dan penyerapan bersesuaian dengan arah arus listrik pada logam. Hal ini dikenal dengan efek *Peltier*.



Gambar 2.7 Aliran arus yang menyebabkan perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas (efek *Peltier*) (Sumber: Poetro dkk., 2013)

Besarnya nilai efek *Peltier* yang terjadi pada terminal dingin atau terminal panas elemen termoelektrik dapat ditentukan dengan Persamaan 2.3 sebagai berikut.

$$Q_c \text{ atau } Q_h = \alpha_{pn} T I \quad (2.3)$$

Dengan:

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)

2.6 Modul Termoelektrik

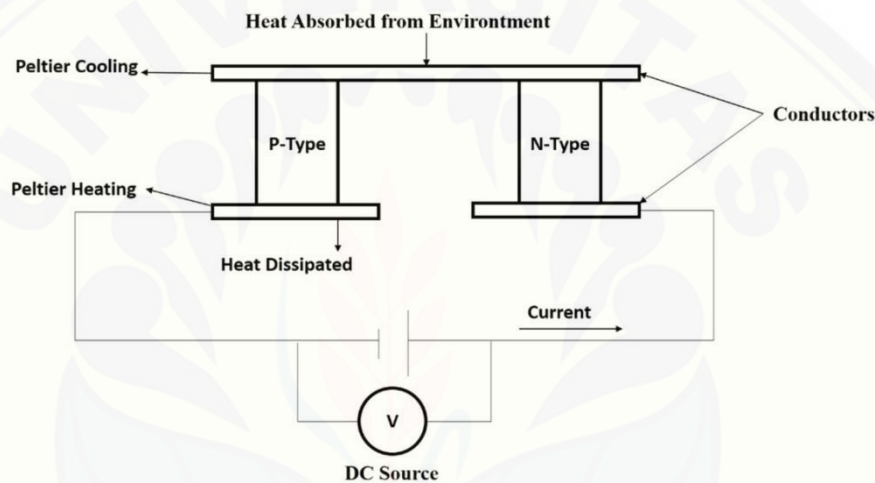
Dalam elektronika terdapat berbagai komponen yang terbuat dari bahan semikonduktor. Semikonduktor sendiri merupakan bagian yang sangat penting dalam modul termoelektrik atau modul *Peltier*. Modul termoelektrik terdiri dari banyak sambungan semikonduktor yang dirancang menjadi sebuah divais termoelektrik atau modul. Semikonduktor dalam modul tersebut akan disambungkan dan membentuk termokopel. Sebuah modul termoelektrik tersusun dari material keramik Bismuth Teluride tipe P dan tipe N yang dihubungkan seri untuk elektrik dan paralel untuk panas. Spesifikasi dari modul termoelektrik bervariasi. Untuk perbedaan temperatur yang besar, desain *multistage* seri dapat digunakan dan dapat menghasilkan hingga 130 °C (Riffat, 2003). Skematik diagram dari modul termoelektrik ditunjukkan pada Gambar 2.9. Pada penelitian ini, penulis akan menggunakan 2 buah *Thermoelectric Cooler* (TEC) Tipe TEC1-12705 dengan spesifikasi pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Thermoelectric Cooler (TEC) Tipe TEC1-12705 (Sumber: Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.)

Prinsip kerja modul termoelektrik adalah berdasarkan efek *Peltier*. Efek *Peltier* akan menciptakan perbedaan suhu yang diakibatkan oleh pemberian tegangan antara dua jenis elektroda yang terhubung ke sampel bahan

semikonduktor. Penggunaan modul termoelektrik harus didukung dengan proses pembuangan panas pada sisi panas. Apabila suhu panas sama dengan suhu lingkungan, maka pada sisi dingin akan didapatkan suhu yang lebih rendah (puluhan derajat Kelvin). Tingkat pendinginan dapat diturunkan oleh nilai arus yang melewati modul termoelektrik. Dalam termoelektrik, penukar panas elektron bertindak sebagai pembawa panas. Aksi dari pemompaan panas disebabkan karena fungsi dari banyaknya elektron yang melewati *P-N Junction* (Bansal, 2009).



Gambar 2.9 Skematik diagram modul termoelektik *Peltier* (Sumber: Purnamasari, 2017)

Dalam perancangan dan pemanfaatan modul *Peltier* sebagai pendingin dan pemanas diperlukan beberapa pengembangan untuk dapat membuat kinerja dari efek *Peltier* tersebut maksimal. Berdasarkan perhitungan teori yang dilakukan dengan model realistik dari *Peltier* modul, mengindikasikan bahwa *Coofecient of Performa* (COP) dan kapasitas pemompa panas bergantung pada panjang dari termoelemen yang menyusun modul tersebut. Ketergantungan ini akan naik secara signifikan dengan penurunan dari panjang termoelemen. Untuk modul komersial yang tersedia yang memiliki panjang termoelemen 1.5 mm, hasilnya mengindikasikan bahwa nilai COP dan kapasitas pemompa panas adalah sebesar 70% dan 30% merupakan nilai yang ideal. Mengurangi resistansi kontak, terutama

resistansi kontak termal merupakan syarat yang penting untuk dapat mencapai perbaikan yang lebih lanjut baik pada COP maupun kapasitas pemompaan panas (Min dkk., 1999).

2.6.1 Konduktivitas Termal Termoelektrik (K)

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 2.4 dan 2.5.

$$Q_{\max} = K (0,5 \times Z \times (T_c)^2 - (T_h - T_c)) \quad (2.4)$$

$$K = \frac{Q_{\max}}{(0,5 \times Z \times (T_c)^2 - (T_h - T_c))} \quad (2.5)$$

Dengan:

K = Konduktivitas termal termoelektrik (WK^{-1})

Q_{\max} = Kapasitas pendinginan maksimum TEC (W)

Z = Figure of merit (/K)

T_c = Temperatur terminal dingin (K)

T_h = Temperature terminal panas (K)

2.6.2 Koefisien Seebeck (α_{pn})

Koefisien *Seebeck* berpengaruh terhadap karakteristik bahan modul yang digunakan. Menurut Oktorina (2006) nilai koefisien *Seebeck* dapat dihitung menurut Persamaan 2.6.

$$(\alpha_{pn}) = \sqrt{\frac{Z \times K \times R}{n^2}} \quad (2.6)$$

$$Z = \frac{\Delta T_{max}}{0,5 (T_c)^2} \quad (2.7)$$

Dengan:

α_{pn} = Koefisien *Seebeck* (V/K)

Z = Figur of merit (/K)

K = Konduktivitas termal termoelektrik (WK^{-1})

R = Hambatan alat (Ω)

n = Jumlah pasang kaki semi konduktor (127 pasang)

ΔT_{max} = Perubahan temperatur maksimum TEC (K)

T_c = Temperatur terminal dingin (K)

2.6.3 COP (*Coefficient of Performance*)

COP merupakan nilai dari sistem pendinginan termoelektrik. Nilai ini dapat menunjukkan tingkat kualitas dari sistem pendinginan termoelektrik. 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 Oktorina (2006). COP dapat dihitung dengan Persamaan 2.8, 2.9, dan 2.10 sebagai berikut.

a. Panas yang terjadi pada terminal dingin

$$Q_c = n (\alpha_{pn}) T_c I - K (T_h - T_c) - 0,5 I^2 R \quad (2.8)$$

b. Daya yang diperlukan

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

c. COP yang dihasilkan

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

Dengan:

COP = *Coefficient of Performance*

Q_c = Panas pada terminal dingin (W)

W = Daya yang diperlukan (W)

α_{pn} = Koefisien *Seebeck* (V/K)

K = Konduktivitas termal termoelektrik (WK^{-1})

I	= Arus listrik (A)
R	= Hambatan listrik (Ω)
T_c	= Temperatur terminal dingin (K)
T_h	= Temperature terminal panas (K)

2.7 Elemen *Peltier*

Pada abad ke 19 tahun 1834 *Jean Charles Athanase Peltier* menemukannya efek pendingin. Dimana ketika arus listrik mengalir pada dua bahan konduktor yang berbeda yang menyebabkan adanya penyerapan dan pelepasan panas. Namun *Peltier* gagal karena penjelasan fenomena fisika lemah hal ini tidak mematuhi hukum Ohm. Tahun 1909 dan 1911 ilmuwan lainnya yaitu *Altenkirch* menunjuk bahwa bahan termoelektrik pendingin membutuhkan koefisien *Seebeck* tinggi.

Konsep dasar dari sel *Peltier* yaitu efek *Seebeck* dan efek *Peltier*, dimana elemen *Peltier* ini merupakan bahan semikonduktor yang bertipe-p dan tipe-n. Semikonduktor merupakan bahan setengah penghantar listrik yang disebabkan perbedaan daya ikat diantara atom-atom, ion-ion, atau molekul-molekul.

Seperti terlihat pada Gambar 2.10 penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari modul *Peltier*. Sehingga nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan gaya yang diberikan ke modul. Semikonduktor terbagi menjadi dua yaitu semikonduktor Intrinsik (murni) dan semikonduktor ekstrinsik (tidak murni).

Semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor tidak murni dimana terjadi penambahan elektron proses penambahan disebut doping untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen, yang diharapkan agar dapat menghantarkan listrik. Doping dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe-N dan tipe-P, dimana semikonduktor tipe-N yang dihasilkan muatan negatif dan merupakan donor untuk melepaskan elektron sedangkan semikonduktor tipe-P menghasilkan muatan positif.



Gambar 2.10 Prinsip kerja elemen *Peltier* (Sumber: Kusumah, 2014)

Dalam penjelasan semikonduktor maka dapat disimpulkan bahwa di dalam *Peltier* (*thermoelectric cooler Peltier*) terdapat bahan semikonduktor dengan tipe-N dan tipe-P yang apabila kedua tipe tersebut diberi arus listrik akan menimbulkan beda potensial.

2.8 Prinsip Kerja Elemen *Peltier*

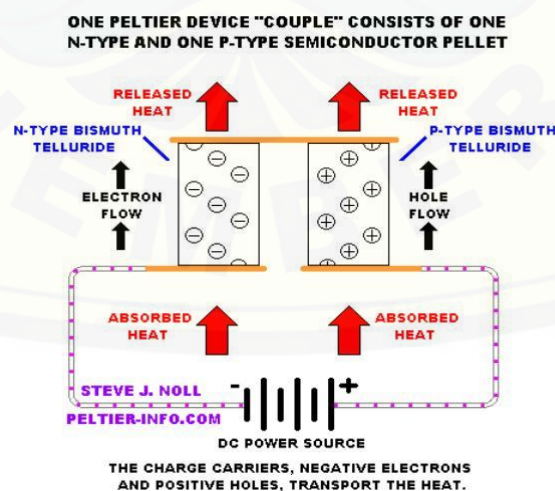
Sampai saat ini sistem pendingin dan pemanas termoelektrik masih sering dibandingkan dengan sistem konvensional lainnya. Seperti pada sistem pendingin konvensional yang menggunakan prinsip kompresi uap.

Pada sistem pendingin konvensional terdapat empat bagian fundamental yaitu evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Evaporator merupakan komponen tempat terjadinya penguapan *refrigeran*. *Refrigeran* menguap karena menyerap kalor dari ruangan yang didinginkan. *Refrigeran* tentunya memiliki temperatur yang lebih rendah dapat menyerap kalor dari lingkungan. Oleh sebab itulah dibutuhkan bahan *refrigeran* yang mudah menguap pada temperatur rendah dan dibantu dengan penggunaan katup ekspansi untuk menurunkan tekanan. Pada tekanan rendah *refrigeran* akan lebih mudah menyerap kalor. Kompresor merupakan komponen tempat dikompresinya *refrigeran* yang

telah menyerap kalor dari lingkungan dan berbentuk uap. Dengan proses kompresi, *refrigerant* diperlambat gerakan molekulnya, sehingga seakan-akan energi kalor dipaksa terlepas dari *refrigeran*. Kondensor merupakan komponen dimana *refrigeran* yang terkompresi melepaskan kalor ke lingkungan luar sehingga mengalami pengembunan dan berubah fase menjadi cair kembali.

Pendingin udara konvensional memiliki performa pendinginan yang besar dan menggunakan energi listrik yang besar. Sedangkan pada sistem termoelektrik penyerapan dan pelepasan kalor terjadi akibat perpindahan elektron. Perpindahan elektron menyebabkan penyerapan energi dari lingkungan dan pelepasan energi ke lingkungan. Perpindahan elektron ini digerakan oleh beda potensial dari arus DC yang diberikan.

Sistem pendingin *Peltier* pada Gambar 2.11 tersusun dari pasangan-pasangan balok kecil berbahan Bismuth Telluride yang dikotori (doted) berupa semikonduktor tipe N dan tipe P. Semikonduktor tipe-N telah dikotori oleh bahan-bahan yang memberikan elektron tambahan, sehingga terjadi kelebihan jumlah elektron yang menyebabkan mudah melepas elektron. Sebaliknya pada semikonduktor tipe-P dikotori bahan-bahan yang mengurangi jumlah elektron, sehingga terdapat lubang-lubang yang menyebabkannya mudah menerima elektron dari Tipe-N.



Gambar 2.11 Sistem pendingin *Peltier* (Sumber: Kusumah, 2014)

Pemberian arus listrik DC menyebabkan elektron dari semikonduktor tipe-N mengalir menuju semikonduktor tipe P. semikonduktor tipe N yang kelebihan elektron menjadi kelebihan energi kemudian membuang energi tersebut ke lingkungan. Sedangkan semikonduktor tipe P yang dihubungkan dengan kutub positif kekurangan elektron dan kekurangan energi sehingga menyerap energi dari luar.

Apabila disisi panas suhu dibuat serendah mungkin, maka suhu dingin akan bisa sangat dingin bahkan berbuih es. Untuk membuat suhu rendah pada sisi panas diperlukan pemasangan *heatsink* dan ditambah dengan kipas. Jika penggunaan *heatsink* lebih besar dan arus lebih optimal, maka hasilnya akan sangat maksimal hingga terlihat bunga es pada bagian sisi pendingin.

2.9 Kipas DC

Dalam kipas angin terdapat suatu motor listrik. Motor listrik mengubah listrik listrik menjadi energi gerak. Kipas DC bermacam-macam dari yang berukuran 5cm – 12cm, sedangkan pada penelitian ini peneliti menggunakan 2 buah kipas DC Model: AV-F9025MS 12V == 0,20A dengan dimensi (91 mm x 91 mm x 24 mm) seperti pada Gambar 2.12.



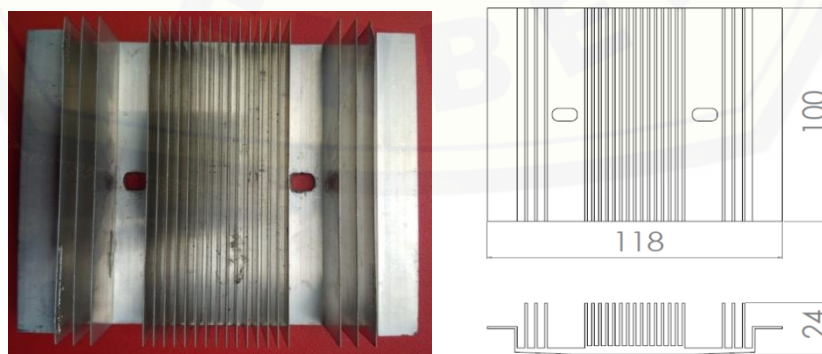
Gambar 2.12 Kipas DC

Dalam motor listrik terdapat suatu kumparan besi pada bagian yang bergerak beserta sepasang pipih yang berbentuk magnet U pada bagian yang diam

(permanen). Ketika listrik mengalir pada lilitan kawat dalam kumparan besi hal ini membuat kumparan besi menjadi sebuah magnet, karena sifat magnet yang saling tolak menolak pada kedua kutubnya maka gaya tolak-menolak magnet antara kumparan besi dan sepasang membuat gaya berputar secara periodik pada kumparan besi tersebut. Oleh karena itu baling-baling kipas angin dikaitkan ke poros kumparan tersebut. Penambahan tegangan listrik pada kumparan besi dan menjadi gaya kemagnetan ditunjukkan untuk memperbesar hembusan angin pada kipas angin.

2.10 Heatsink

Heatsink adalah logam dengan design khusus yang terbuat dari aluminium atau tembaga (bisa merupakan kombinasi kedua material tersebut). *Heatsink* umumnya digunakan untuk meningkatkan transfer panas dengan cara memperluas permukaan konveksi. Semakin besar luas permukaan semakin besar perpindahan panas konveksi karena bidang sentuh semakin besar. Akan tetapi besarnya perpindahan panas konveksi juga dipengaruhi oleh besarnya koefisien konveksi. Pada penggunaan *heatsink* nilai h terbesar terdapat pada ujung sirip dan nilai terkecil terdapat pada dasar sirip, karena pada dasar sirip ruang aliran dikelilingi oleh permukaan solid sehingga membatasi gerakan fluida. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan jumlah sirip yang digunakan agar tidak menurunkan nilai h . Pada penelitian ini, peneliti menggunakan 2 buah *heatsink* sisi panas TEC seperti pada Gambar 2.13 dan 1 buah *heatsink* sisi dingin TEC seperti Lampiran 4.13.



Gambar 2.13 *Heatsink*

Selain itu panjang sirip juga berpengaruh pada koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Semakin panjang sirip maka semakin besar luas permukaan konveksinya. Akan tetapi sirip yang terlalu panjang akan memperbesar hambatan konduksi sehingga panas tidak bisa berpindah dengan baik sampai ke ujung sirip. Heatsink berfungsi sebagai pelepas panas dari sistem termoelektrik. *Heatsink* sangat mempengaruhi kinerja dari sistem termoelektrik. Semakin baik *heatsink* melepaskan kalor maka semakin baik kinerja dari sistem termoelektrik tersebut.

2.11 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan panas yang dihasilkan dari kontak langsung antara permukaan dengan permukaan pada suatu benda atau komponen. Dalam perpindahan panas konduksi, nilai konduktivitas termal setiap benda sangat mempengaruhi kemampuan mengalirkan panas yang dihantarkan dari sisi yang panas ke sisi yang lebih dingin. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu benda, semakin cepat mengalirnya panas dari satu sisi ke sisi yang lain.

2.12 Beban Pendinginan

Beban pendinginan merupakan panas yang ada di dalam ruangan yang harus dipindahkan keluar ruangan dengan tujuan menurunkan temperatur didalam ruangan. Pada penelitian ini, beban pendinginan yang terjadi meliputi: beban pendinginan udara, plat Aluminium, vaksin, dan beban dinding *coolbox* (*Polyurethane*).

$$Q = m C \Delta T / t \quad (2.11)$$

Dimana:

Q = Kalor yang dilepas atau diterima (Joule/t = W)

m = Massa (kg)

C = Kalor jenis (J/kg°C)

ΔT = Perubahan temperatur (C)

t = Waktu (s)

Beban pendinginan udara adalah beban yang terjadi didalam kotak pendinginan, plat aluminium adalah *heatsink* sisi dingin pada TEC, dan vaksin yang digunakan sebagai beban pendinginan adalah 240 ml. Perhitungan beban pendingin dapat diketahui menggunakan Persamaan 2.11.

2.13 Perpindahan Kalor Bentuk

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 (1993) Jika semua dimensi dalam lebih besar dari seperlima tebal dinding maka didapat Persamaan 2.12 sebagai berikut:

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

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

$$S_{\text{sudut}} = 0,15 \times x$$

$$Q_{\text{dinding}} = k S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14})$$

Dimana:

S = Lebar permukaan (m)

A = Luasan dinding (m²)

x = Tebal dinding (m)

T₅ = temperatur dinding luar (K)

T₃ = Temperatur dinding dalam (K)

k = Konduktivitas *polyurethane* (0,02 W/m⁰K)

p = Panjang kotak pendingin (m)

l = Lebar kotak pendingin (m)

t = Tinggi kotak pendingin (m)

2.14 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 termoelektrik bekerja. Daya listrik dapat dicari dengan Persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$P = V I \quad (2.13)$$

Dengan:

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (A)

2.15 Efisiensi Pendinginan Sistem

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 *heatsink* dingin, dan beban pendinginan udara. Dalam mencari nilai efisiensi yang dihasilkan dari suatu sistem pendinginan dapat dihitung dengan Persamaan 2.14.

$$\eta = \frac{Q_T}{P} \times 100\% \quad (2.14)$$

Dengan:

η = Efisiensi pendinginan

Q_T = Kalor total = kalor bentuk + kalor *heatsink* dingin + kalor beban pendingina udara + kalor beban pendingina vaksin = $q_{\text{dinding}} + q_{\text{aluminium}} + q_{\text{udara}} + q_{\text{vaksin}}$

P = Daya listrik (Watt)

2.16 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah rangkaian *Thermoelectric Cooler* (TEC) atau sel *Peltier* paralel lebih cocok digunakan sebagai *mini refrigerator portable* daripada TEC rangkaian seri. Nilai COP dan efisiensi TEC rangkaian paralel sistem pendinginan lebih bagus dari rangkaian seri karena arus listrik yang masuk pada TEC lebih besar dari rangkaian seri meskipun menggunakan daya listrik yang sama. Oleh karena itu pada TEC rangkaian seri dibutuhkan daya listrik yang lebih besar untuk mendapatkan hasil yang sama dengan TEC rangkaian paralel sehingga mengakibatkan efisiensi TEC rangkaian seri lebih rendah dari TEC rangkaian paralel. Pada penelitian kali ini peneliti bertujuan untuk mengetahui kemampuan kotak pendingin (*Thermoelectric Refrigerator/TER*) sebagai media penyimpanan vaksin.

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 2018 sampai dengan November 2018 dengan rencana penelitian yang telah disusun.

3.2 Alat dan Bahan

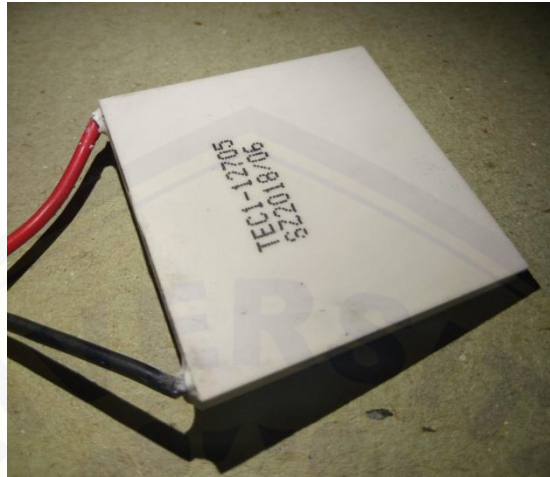
3.2.1 Alat dan Instrumen Penelitian

- a. Kotak Pendingin *Polyurethane* 5,5 L (280 X 180 X 200) mm
- b. Elemen Termoelektrik (*Peltier*) tipe TEC1-12705
- c. Kipas DC model: AV-F9025MS 12V == 0,20A
- d. Data *Logger*
- e. *Power Supply*
- f. Solder
- g. Vaksin
- h. *Hand Drill*
- i. *Thermal Paste*
- j. Gerinda
- k. Multimeter
- l. *Tachometer*
- m. *Heatsink*
- n. Laptop
- o. Alumunium
- p. *Styrofoem Glue*

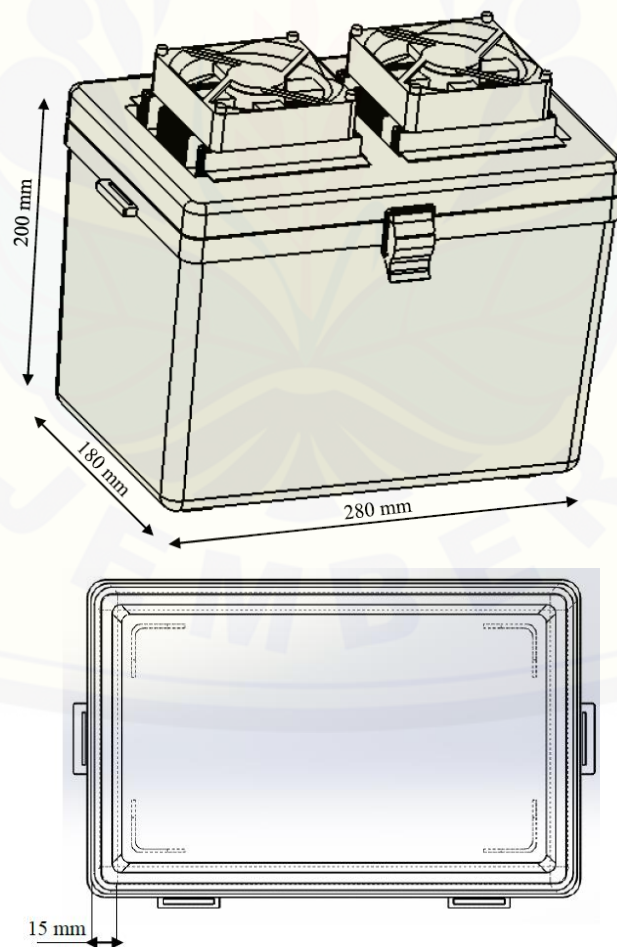
3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan variasi rangkaian elemen *Peltier* seri dan paralel pada kotak pendingin *polyurethane* 5,5 L (280 x 180 x 200) mm dengan pemberian daya yang tetap yaitu untuk rangkaian seri 20 W (11,5 V – 1,74 A), 30 W (14,0 V –

2,14 A), dan 40 W (16,4 V – 2,51 A) dan untuk paralel sebesar 20 W (5,9 V – 3,45 A), 30 W (7,2 V - 4,23 A), dan 40 W (8,3 V - 4,96 A).



Gambar 3.1 Elemen termoelektrik (*Peltier*)



Gambar 3.2 Kotak pendingin

3.3 Metode Penelitian

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

Penelitian ini menggunakan 2 buah elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan variasi rangkaian elemen *Peltier* seri dan paralel pada kotak pendingin *polyurethane* 5,5 L (280 x 180 x 200) mm. Pemberian daya pada rangkaian seri dan paralel tetap yaitu sebesar 20 W (11,5 V – 1,74 A), 30 W (14,0 V – 2,14 A), dan 40 W (16,4 V – 2,51 A) dan untuk paralel sebesar 20 W (5,9 V – 3,45 A), 30 W (7,2 V - 4,23 A), dan 40 W (8,3 V - 4,96 A) dengan waktu pengambilan data selama 60 menit.

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 seri dan 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

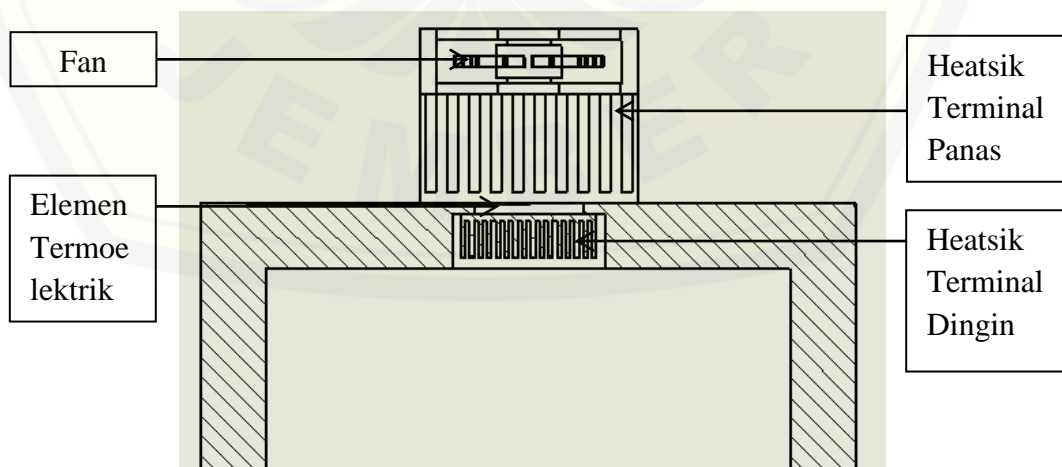
Tahap-tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Merangkai komponen-komponen mesin pendingin dengan benar yaitu adaptor listrik, elemen termoelektrik, *heatsink*, kipas, dan komponen-komponen lain

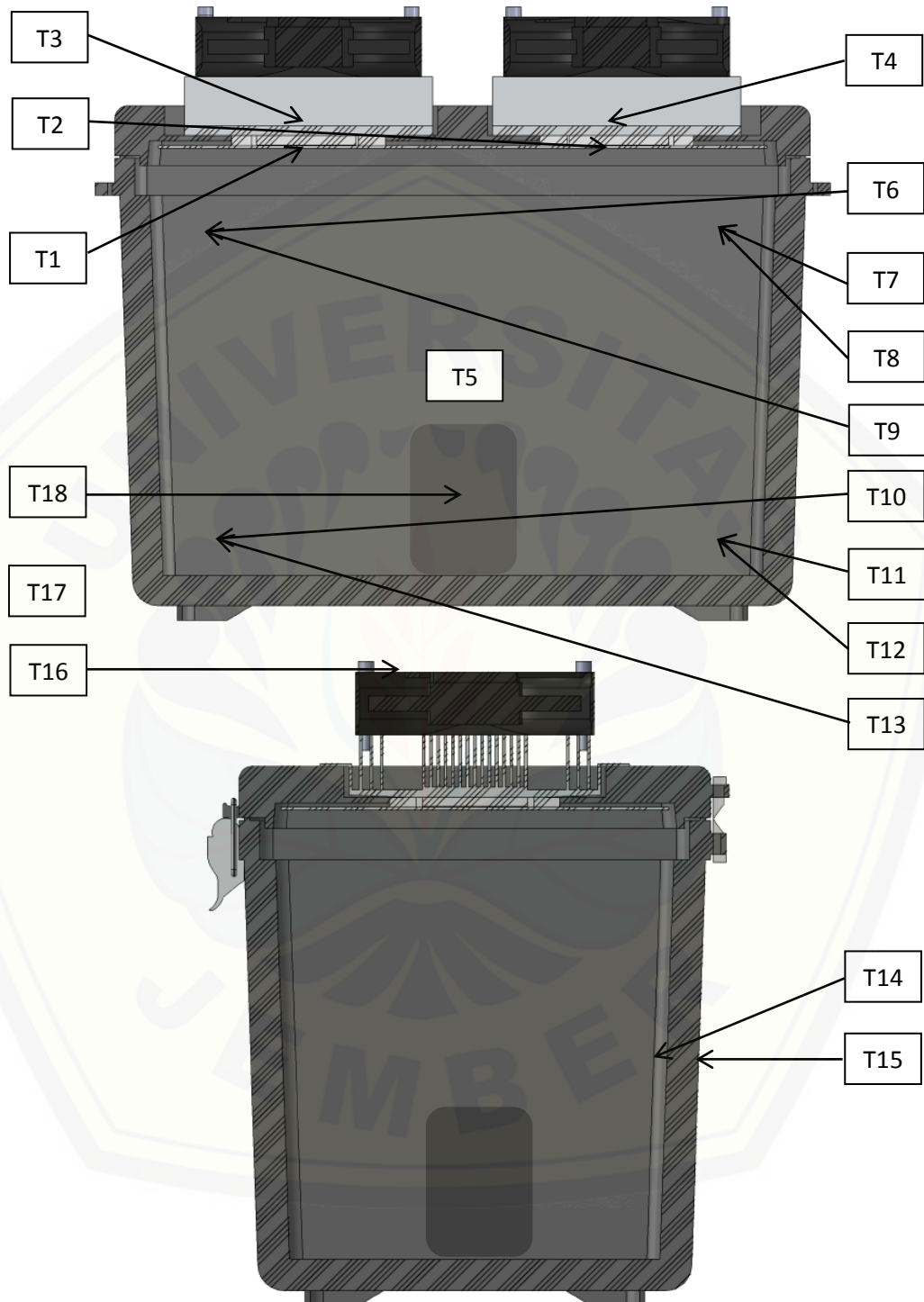
- b. Pemasangan alat ukur temperatur (*thermocouple*), pada titik T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T12, T13, T14, T15, T16, T17, dan T18. Seperti pada Gambar 3.4
- c. Menjalankan alat uji dan mencatat temperatur yang ditunjukkan oleh pengukur temperatur pada semua titik yang ditentukan
- d. Melakukan percobaan dengan merubah variasi elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan rangkaian seri. Variasi daya listrik untuk rangkaian seri adalah 20 W (11,5 V – 1,74 A), 30 W (14,0 V – 2,14 A)
- e. Pengumpulan data
- f. Melakukan percobaan dengan merubah variasi elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan rangkaian paralel. Variasi daya listrik untuk rangkaian paralel adalah 20 W (5,9 V – 3,45 A), 30 W (7,2 V - 4,23 A), dan 40 W (8,3 V - 4,96 A).
- g. Pengumpulan data
- h. Perhitungan data untuk mencari COP dan efisiensi sistem.

3.5 Rangkaian *Mini Refrigerator Portable*

Skema alat yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4:



Gambar 3.3 Skema rangkaian *mini refrigerator portable*



Gambar 3.4 Titik pengukuran temperatur

Titik pengambilan suhu berdasarkan artikel Nakahama (2007:3). Keterangan titik pengambilan suhu pada Gambar 3.4 sebagai berikut, untuk memperjelas terdapat pada Lampiran 6.8.

- T1 = Suhu sisi dingin TEC kiri
- T2 = Suhu sisi dingin TEC kanan
- T3 = Suhu sisi panas TEC kiri
- T4 = Suhu sisi panas TEC kanan
- T5 = Suhu tengah kotak pendingin
- T6 = Suhu atas belakang kiri kotak pendingin
- T7 = Suhu atas belakang kanan kotak pendingin
- T8 = Suhu atas depan kanan kotak pendingin
- T9 = Suhu atas depan kiri kotak pendingin
- T10 = Suhu bawah belakang kiri kotak pendingin
- T11 = Suhu bawah belakang kanan kotak pendingin
- T12 = Suhu bawah depan kanan kotak pendingin
- T13 = Suhu bawah depan kiri kotak pendingin
- T14 = Suhu dinding dalam kotak pendingin
- T15 = Suhu dinding luar kotak pendingin
- T16 = Suhu aliran udara pembuangan kipas
- T17 = Suhu lingkungan
- T18 = Suhu vaksin

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 elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan rangkaian seri dan paralel. Daya listrik untuk elemen termoelektrik pada rangkaian seri 20 W (11,5 V – 1,74 A), 30 W (14,0 V

– 2,14 A), dan 40 W (16,4 V – 2,51 A) untuk rangkaian paralel sebesar 20 W (5,9 V – 3,45 A), 30 W (7,2 V - 4,23 A), dan 40 W (8,3 V - 4,96 A).

3.6.2 Variabel Terikat

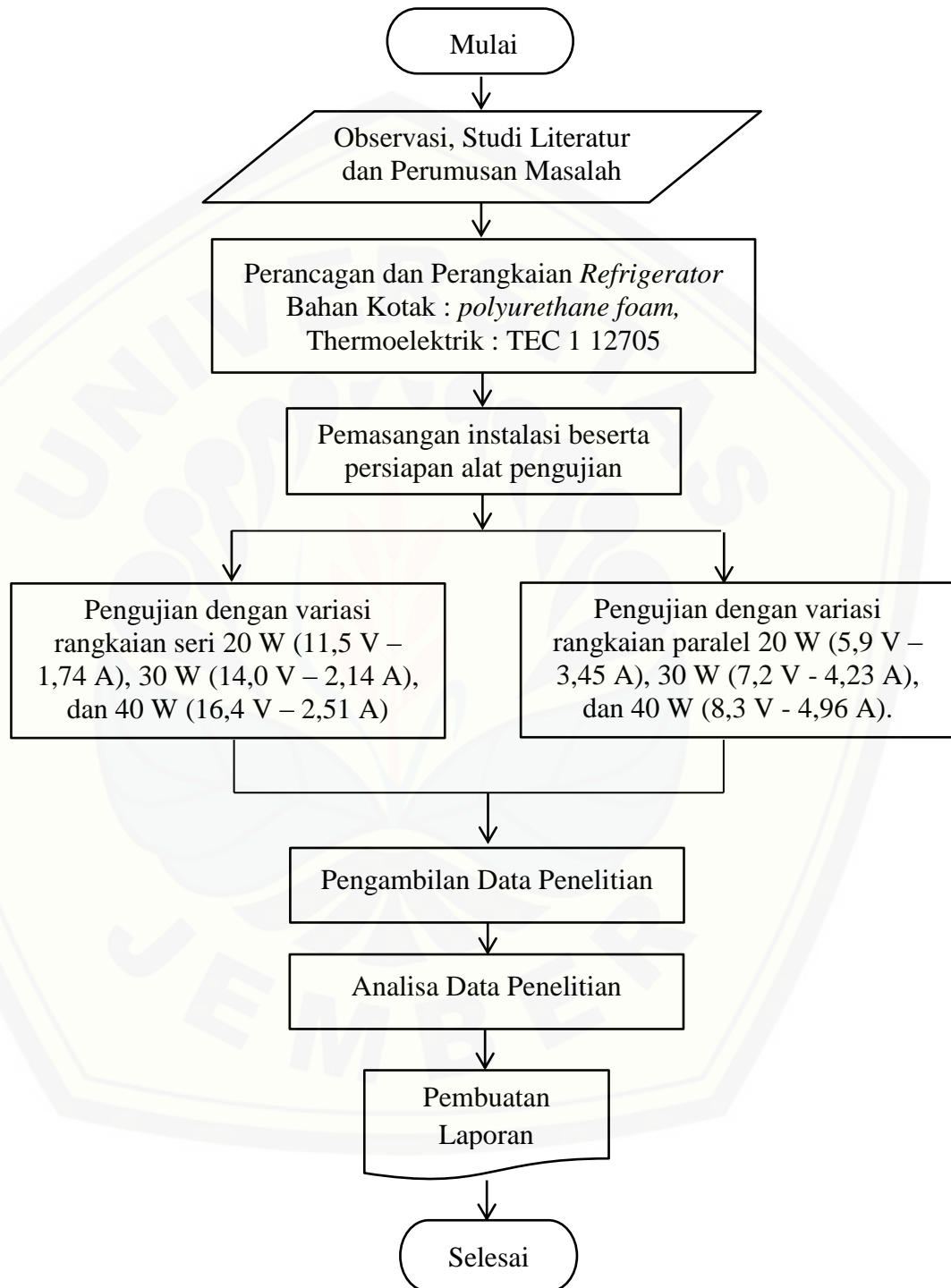
Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. variabel terikat dalam penelitian ini adalah temperature dingin dalam kotak, temperatur pada titik-titik pengukuran suhu.

3.6.3 Variabel Kontrol

Variabel Kontrol merupakan suatu variabel yang besarnya dikendalikan dan dibuat konstan oleh peneliti. Sehingga hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat pada penelitian ini tidak terpengaruh oleh faktor – faktor lain yang tidak digunakan pada metode penelitian. Pada penelitian ini, variabel kontrol yang termasuk didalamnya adalah daya listrik yang diberikan kepada elemen termoelektrik (*Peltier*) rangkaian seri atau paralel dengan pengambilan data suhu pada titik pengukuran temperatur dilakukan setiap 10 menit sekali dalam kurun waktu 1 jam.

3.7 Diagram Alir

Proses dan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

3.8 Tabel Pengukuran

Tabel pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.1 Tabel pengukuran percobaan pada variasi elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan rangkaian seri

Waktu (Menit)	Daya (W)	Putaran Kipas (rpm)	Temperatur (°C)					Ts
			T1	T2	T3	T4	T5	
0	20							
	30							
	40							
10	20							
	30							
	40							
20	20							
	30							
	40							
30	20							
	30							
	40							
40	20							
	30							
	40							
50	20							
	30							
	40							
60	20							
	30							
	40							

Tabel 3.2 Tabel pengukuran percobaan pada variasi elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan rangkaian paralel

Waktu (Menit)	Daya (W)	Putaran Kipas (rpm)	Temperatur (°C)					
			T1	T2	T3	T4	T5	Ts
0	20							
	30							
	40							
10	20							
	30							
	40							
20	20							
	30							
	40							
30	20							
	30							
	40							
40	20							
	30							
	40							
50	20							
	30							
	40							
60	20							
	30							
	40							

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Suhu pada kotak pendingin dengan variasi TEC rangkaian paralel lebih rendah daripada TEC rangkaian seri. Hal ini ditunjukkan dari hasil penyebaran suhu pada kotak pendingin, perhitungan beban pendingin, dan nilai COP. Terbukti pendinginan maksimal pada kotak pendingin dengan pemberian daya 20 W, 30 W, dan 40 W pada rangkaian seri masing-masing 19,93 °C, 19,53 °C, dan 18,77 °C sedangkan pada rangkaian paralel masing-masing 19,40 °C, 18,50 °C, dan 16,97 °C. Hal ini disebabkan suhu yang dihasilkan pada variasi TEC rangkaian paralel lebih rendah dari TEC rangkaian seri, mengindikasikan pada TEC rangkaian paralel arus listrik (I) yang masuk pada TEC lebih besar.
2. Pemberian daya yang lebih tinggi pada TEC rangkaian seri atau paralel akan menghasilkan nilai COP yang lebih kecil. Nilai COP TEC rangkaian paralel pada menit ke 1 – menit ke 3 lebih kecil dari TEC rangkaian seri, namun pada menit ke 60 perbedaan nilai COP antara TEC rangkaian seri dan TEC rangkaian paralel tidak terlalu besar. Perbedaan nilai COP pada menit ke 1 – menit ke 3 mengindikasikan arus listrik (I) yang diberikan kepada TEC rangkaian paralel lebih besar sehingga suhu yang dihasilkan lebih cepat mengalami penurunan daripada TEC rangkaian seri.
3. Efisiensi tertinggi pada TEC rangkaian paralel adalah 25,84% dengan daya input pada sistem 20 W dan beban pendingin sebesar 5,17 W, sedangkan efisiensi tertinggi pada TEC rangkaian seri adalah 20,74% dengan daya input pada sistem 20 W dan beban pendingin sebesar 4,15 W. Efisiensi terendah pada TEC rangkain paralel adalah 15,54% dengan daya input 40 W dan beban pendingin sebesar 6,22 W, sedangkan efisiensi terendah pada TEC rangkain seri adalah 13,48% dengan daya input 40 W dan beban pendingin sebesar 5,39 W. TEC rangkaian paralel memiliki efisiensi yang lebih baik dari TEC

rangkaian seri, mengindikasikan pada TEC rangkaian paralel arus listrik (I) yang diberikan lebih besar dari TEC rangkaian seri mengakibatkan suhu dingin yang dihasilkan oleh TEC rangkaian paralel lebih rendah, sehingga suhu pada beban pendinginan *Thermoelectric Refrigerator* TER lebih rendah dan mengakibatkan ΔT beban pendingin TEC rangkaian paralel yang lebih besar dari ΔT beban pendingin TEC rangkaian seri.

5.2 Saran

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

1. Disarankan *fan* pada *heatsink* sisi panas menyala secara otomatis jika panas *heatsink* melebihi kapasitas panas maksimum TEC, dan mati saat suhu *heatsink* sudah di bawah kapasitas panas maksimum TEC. Karena suhu pada sisi dingin TEC akan semakin dingin jika suhu sisi panas TEC semakin panas.
2. Disarankan untuk menggunakan *fan* pada sisi dingin TEC agar perambatan suhu pada *Thermoelectric Refrigerator* (TER) lebih cepat.
3. Penggunaan modul TEC lebih banyak dapat menghasilkan suhu pendinginan yang rendah.
4. Pada penggunaan rangkain pada TEC disarankan menggunakan rangkaian paralel daripada rangkaian seri. Karena arus (I) yang masuk pada rangkaian paralel lebih besar daripada rangkaian seri.
5. Pertimbangkan berat kotak pendingin, karena penelitian ini tentang penyimpanan vaksin yang *portable* sehingga berat kotak pendingin perlu dipertimbangkan. Berat kotak pendingin dalam penelitian ini 1,81 kg (1 *heatsink* sisi dalam, 2 *heatsink* sisi luar, 2 kipas DC, 2 TEC, kotak pendingin). Jika diasumsikan kotak pendingin terisi penuh oleh beban pendingin (vaksin), maka berat kotak pendingin adalah 7,31 kg.
6. Penempatan TEC lebih baik diletakkan pada sisi atas kotak pendingin untuk memudahkan sirkulasi aliran udara dalam kotak pendingin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2005. *Pedoman Teknis Pengelolaan Vaksin dan Rantai vaksin*. Jakarta: Depkes RI.
- Aziz, A., Subroto, J. & Silpana, V. 2016. *Aplikasi Modul pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman*. Riau: Universitas Riau.
- Bansal, P.K. & Martin, A. 2000. Comparative Study of Vapour Compression, Thermoelectric and Absorption Refrigerator-Rs. *Energy Research*. 24(2): 93-107.
- Bayu, T. 2008. *Pengujian Thermoelectric Generator*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Chen, L., Meng, F., & Sun, F. 2012. Effect of Heat Transfer on The Performance of Thermoelectric Generator-Driven Thermoelectric Refrigerator System. *Cryogenics*. 52: 58-65.
- Colin, T., & Xingcun. 2011. *Textbook: Advanced Materials for Thermal Management of Electronic Packaging*. Springer Series in Advanced Microelectronics 30. Berlin: Springer.
- Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor Edisi keenam*. Jakarta: Erlangga.
- Jugsujinda, S., Vora-Ud, A. & Seetawan, T. 2010. Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance. *Procedia Engineering*. 8: 154–159.
- Kristanta, A. 2012. kalor. https://arifkristanta.files.wordpress.com/2012/10/kalor_jenis.png [15 November 2017].
- Kusumah, I. 2014. Kotak Pemanas dan Pendingin Portabel Berbasis Efek Peltier. *Tugas Akhir*. Jakarta : Politeknik Negeri Jakarta Depok.
- Lee, H. 2013. The Thomson effect and the ideal equation on thermoelectric coolers. *Energy*. 56: 61 -69.
- Min., Gao, D.M., & Rowe. 1999. Improved model for calculating the coefcient of performance of a Peltier module. *Energy Conversion & Management*. 41 (2): 163-171.
- Muchtadi, T.R., & Sugiyono. 1992. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Muhaimin. 1993. *Bahan-Bahan Listrik untuk Politeknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

- Nakahama, H. 2007. Estimation Method for Temperature Uncertainty of Temperature Chambers. *Testing Machinery Association (JTM)*. 1 September 2007. *Espec Test Center Corp*: 26.
- Nulhakim, L. 2017. *Uji Unjuk Kerja Pendingin Ruangan Berbasis Thermo Electric Cooling*. Indorama: Politeknik Enjinereng Indorama.
- Oktorina, D.H. 2006. Kajian Karakteristik Modul Termoelektrik Untuk Sistem Penyimpanan Dingin. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pantastico, E.R.B. 1997. *Fisiologi Pasca Panen, Penanganan dan Pemanfaatan Buah-buahan dan Sayur-sayuran Tropika dan Sub-tropika*. Diterjemahkan oleh Kamariyani. Editor gambar Gembong Tjitrosoepomo. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Poetro, J.E., & Handoko, C.R. 2013. Analisis Kinerja Sitem Pendingin Arus Searah yang Menggunakan Heat sink Jenis Extruded Dibandingkan dengan Heat sink Jenis Slot. *Jurnal Teknik Mesin ITS*. Vol. 21 (2): 178-188.
- Purnamasari, D. 2017. Perancangan Kotak Pendingin Dan Penghangat Minuman Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier Tec1-12706 Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Skripsi*. Lampung: Universitas Bandar Lampung.
- Putra, F.C., & Repi, V.V.R. 2015. *Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan Obat-Obatan*. Jakarta: Universitas Nasional.
- Prasetyo, H. 2015. Analisis Pengaruh Luasan Heatsink Terhadap Unjuk Kerja Portable Mini Refrigerator. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Rajput, R.K. 2009. *A textbook of refrigeration and air conditioning*. S.K. Kataria and Sons pp: 329-331.
- Rawat, M.K., Chattopadhyay, H., & Neogi, S. 2013. A Review On Development of Thermoelectric Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Novel Potential Green Refrigeration and Air Conditioning Technology. *Emerging Techonolgy and Advanced Engineering*. 3(3): 362-367.
- Riffat, S.B., & Ma, X. 2003. Thermoelectrics: a review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*. 23(8): 913-935.
- Sugiyanto. 2008. Pengembangan Peti insulasi Sepeda Motor Berbasis Termoelektrik dan Heat Pipe. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- UNICEF. 2010. *Handbook for Vaccine and Cold Chain Handlers*. New Delhi: UNICEF.

Wahyu, D., Andriyanto, Hanif, Sukma, R., & Rosa, Y. 2016. Kajian Eksperimental Alat Multi Fungsi Bercatu Daya Termoelektrik Untuk Pendinginan Dan Pemanasan. *Jurnal Rotor*. 2: 46-51.

Widianto, T.N., Hermawan, W., & Utomo, B.S. 2014. Uji Coba Peti Ikan Segar Berpendingin Untuk Pedagang Ikan Keliling. *Agritech*. 36(4): 485-490.

Winarno, F.G. 2002. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia.



LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Data hasil percobaan *Thermoelectric Refrigerator (TER)* pada variasi *Thermoelectric Cooler (TEC)* rangkaian seri

Waktu (Menit)	Daya (W)	Putaran Kipas (rpm)	Temperatur (°C)																					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18				
0	20	9682	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	28,00	28,00	28,00	
	30	10936	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	28,00	28,00	28,00	28,00
	40	12119	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	28,00	28,00	28,00	28,00
10	20	9682	11,60	11,47	34,43	34,77	23,63	24,77	25,30	25,57	24,33	22,60	24,03	24,63	23,30	27,33	29,23	31,07	28,00	24,17				
	30	10936	6,60	7,40	34,47	34,83	22,17	22,33	23,40	24,17	23,87	23,07	22,60	22,33	20,83	23,80	27,80	31,10	28,00	22,63				
	40	12119	6,03	6,33	35,47	34,37	23,30	24,00	25,17	25,30	24,70	23,30	24,30	23,70	21,57	25,03	28,50	31,13	28,00	23,80				
20	20	9682	10,90	10,77	34,50	34,57	22,33	23,50	24,17	24,37	23,37	21,73	23,00	23,40	21,80	25,80	29,20	31,07	28,00	23,03				
	30	10936	6,40	6,73	34,30	34,43	21,13	21,30	22,20	22,57	22,60	21,50	21,60	21,23	19,83	22,73	28,00	30,90	28,00	21,53				
	40	12119	5,13	5,70	35,27	34,90	21,30	21,83	23,13	23,33	22,57	20,90	22,43	21,80	20,07	23,13	28,10	31,17	28,00	21,83				
30	20	9682	10,53	10,40	34,50	34,37	21,50	22,70	23,40	23,73	22,60	21,07	22,40	22,63	21,20	24,67	29,10	31,10	28,00	22,33				
	30	10936	6,23	6,53	34,30	34,63	20,10	20,60	21,60	22,20	21,83	20,63	21,10	20,43	19,07	21,97	27,63	31,17	28,00	21,17				
	40	12119	4,97	5,37	35,27	34,90	20,27	20,60	21,80	21,83	21,43	19,77	21,40	20,80	19,10	22,13	28,23	31,20	28,00	20,77				
40	20	9682	10,60	10,47	34,37	34,30	21,10	22,40	22,83	23,30	22,07	20,43	21,93	22,23	21,13	23,82	28,90	30,73	28,00	21,83				
	30	10936	5,63	6,13	34,90	34,10	19,90	20,50	21,43	21,83	21,60	20,70	20,63	20,23	18,87	21,40	27,40	31,57	28,00	20,53				
	40	12119	4,73	5,07	35,20	34,63	19,30	19,83	20,77	21,23	20,77	19,10	20,40	20,03	18,47	21,17	27,80	31,67	28,00	19,93				
50	20	9682	10,47	10,10	34,20	34,37	20,17	21,80	22,49	22,80	21,80	20,20	21,60	21,83	20,43	23,73	28,80	30,80	28,00	21,40				
	30	10936	5,80	6,13	34,53	34,67	19,63	20,40	21,30	21,73	21,67	20,63	20,57	20,03	18,83	21,03	27,43	31,16	28,00	20,37				
	40	12119	4,50	5,00	34,83	34,60	18,83	19,37	20,33	20,80	20,37	19,10	19,77	19,33	17,93	20,70	27,60	31,30	28,00	19,47				
60	20	9682	10,53	10,47	34,17	34,23	19,93	21,80	22,47	22,87	21,60	20,10	21,50	21,77	20,40	23,60	28,73	30,73	28,00	21,33				
	30	10936	5,73	6,20	34,45	34,44	19,53	20,40	21,30	21,90	21,67	20,63	20,40	20,00	18,90	20,60	27,20	31,13	28,00	20,07				
	40	12119	4,53	4,80	34,67	34,50	18,77	19,17	20,13	20,30	20,10	19,10	19,57	19,07	17,70	20,53	27,20	31,23	28,00	19,33				

Lampiran 4.3 Data kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada variasi rangkaian seri

Waktu (Menit)	Daya (W)	Putaran Kipas (rpm)	Temperatur (°C)																	
			Tc	Th	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18		
0	20	9682	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	
	30	10936	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	
	40	12119	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	20	9682	11,53	34,60	23,63	24,77	25,30	25,57	24,33	22,60	24,03	24,63	23,30	27,33	29,23	31,07	28,00	24,17		
	30	10936	7,00	34,65	22,17	22,33	23,40	24,17	23,87	23,07	22,60	22,33	20,83	23,80	27,80	31,10	28,00	22,63		
	40	12119	6,18	34,92	23,30	24,00	25,17	25,30	24,70	23,30	24,30	23,70	21,57	25,03	28,50	31,13	28,00	23,80		
20	20	9682	10,83	34,53	22,33	23,50	24,17	24,37	23,37	21,73	23,00	23,40	21,80	25,80	29,20	31,07	28,00	23,03		
	30	10936	6,57	34,37	21,13	21,30	22,20	22,57	22,60	21,50	21,60	21,23	19,83	22,73	28,00	30,90	28,00	21,53		
	40	12119	5,42	35,08	21,30	21,83	23,13	23,33	22,57	20,90	22,43	21,80	20,07	23,13	28,10	31,17	28,00	21,83		
30	20	9682	10,47	34,43	21,50	22,70	23,40	23,73	22,60	21,07	22,40	22,63	21,20	24,67	29,10	31,10	28,00	22,33		
	30	10936	6,38	34,47	20,10	20,60	21,60	22,20	21,83	20,63	21,10	20,43	19,07	21,97	27,63	31,17	28,00	21,17		
	40	12119	5,17	35,08	20,27	20,60	21,80	21,83	21,43	19,77	21,40	20,80	19,10	22,13	28,23	31,20	28,00	20,77		
40	20	9682	10,53	34,33	21,10	22,40	22,83	23,30	22,07	20,43	21,93	22,23	21,13	23,82	28,90	30,73	28,00	21,83		
	30	10936	5,88	34,50	19,90	20,50	21,43	21,83	21,60	20,70	20,63	20,23	18,87	21,40	27,40	31,57	28,00	20,53		
	40	12119	4,90	34,92	19,30	19,83	20,77	21,23	20,77	19,10	20,40	20,03	18,47	21,17	27,80	31,67	28,00	19,93		
50	20	9682	10,28	34,28	20,17	21,80	22,49	22,80	21,80	20,20	21,60	21,83	20,43	23,73	28,80	30,80	28,00	21,40		
	30	10936	5,97	34,60	19,63	20,40	21,30	21,73	21,67	20,63	20,57	20,03	18,83	21,03	27,43	31,16	28,00	20,37		
	40	12119	4,75	34,72	18,83	19,37	20,33	20,80	20,37	19,10	19,77	19,33	17,93	20,70	27,60	31,30	28,00	19,47		
60	20	9682	10,50	34,20	19,93	21,80	22,47	22,87	21,60	20,10	21,50	21,77	20,40	23,60	28,73	30,73	28,00	21,33		
	30	10936	5,97	34,45	19,53	20,40	21,30	21,90	21,67	20,63	20,40	20,00	18,90	20,60	27,20	31,13	28,00	20,07		
	40	12119	4,67	34,58	18,77	19,17	20,13	20,30	20,10	19,10	19,57	19,07	17,70	20,53	27,20	31,23	28,00	19,33		

Lampiran 4.4 Data kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada variasi rangkaian paralel

Waktu (Menit)	Daya (W)	Putaran Kipas (rpm)	Temperatur (°C)																	
			Tc	Th	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18		
0	20	9682	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	
	30	10936	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	
	40	12119	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	20	9682	8,77	31,30	22,43	23,40	24,07	24,27	22,93	21,33	23,17	23,80	22,50	23,70	27,97	29,37	28,00	23,07		
	30	10936	6,03	31,40	21,83	22,90	23,57	23,57	22,73	20,20	22,70	23,60	21,80	24,57	28,07	30,07	28,00	22,45		
	40	12119	5,52	35,32	20,63	23,20	23,77	24,27	24,23	23,07	22,63	22,20	21,33	24,67	28,67	29,77	28,00	22,74		
20	20	9682	8,08	31,07	21,17	22,00	22,77	23,17	21,83	19,97	22,00	22,50	21,50	22,63	27,67	29,37	28,00	21,83		
	30	10936	5,30	31,35	20,13	21,30	21,97	22,07	21,13	19,03	21,00	21,80	20,30	22,73	27,97	29,77	28,00	20,92		
	40	12119	4,90	34,98	18,60	20,60	21,67	21,97	21,93	20,17	20,73	20,23	19,90	22,83	28,77	30,37	28,00	20,60		
30	20	9682	7,95	31,38	20,30	21,20	21,97	22,27	21,13	19,33	21,20	21,70	20,70	21,90	28,17	29,37	28,00	21,06		
	30	10936	4,98	31,17	19,50	20,10	20,97	21,17	20,33	18,40	20,17	20,83	19,67	21,50	27,67	30,17	28,00	20,04		
	40	12119	4,83	34,77	17,57	19,50	20,47	20,87	20,93	19,47	19,60	19,30	18,73	21,50	28,47	29,97	28,00	19,53		
40	20	9682	7,95	31,25	20,10	20,67	21,57	21,97	20,73	19,03	21,03	21,33	20,33	21,70	28,17	29,47	28,00	20,72		
	30	10936	5,35	31,70	18,90	19,60	20,77	20,97	19,93	18,00	19,83	20,47	19,23	20,63	27,77	29,67	28,00	19,67		
	40	12119	4,63	34,73	17,20	18,60	19,67	20,07	20,23	18,87	18,97	18,50	18,03	20,80	28,27	31,17	28,00	18,83		
50	20	9682	7,70	30,98	19,80	20,40	21,17	21,57	20,43	18,53	20,53	20,93	20,07	21,23	27,97	29,17	28,00	20,33		
	30	10936	5,20	31,50	18,57	19,50	20,17	20,47	19,53	17,53	19,67	20,03	18,57	20,43	27,97	30,07	28,00	19,25		
	40	12119	4,42	34,80	17,10	18,50	19,27	19,67	19,93	18,73	18,57	18,13	17,97	20,20	28,37	30,67	28,00	18,55		
60	20	9682	7,35	30,47	19,40	20,10	20,97	21,27	20,13	18,47	20,23	20,77	19,83	21,20	27,87	29,37	28,00	20,04		
	30	10936	5,02	31,45	18,50	19,30	20,17	20,37	19,53	17,53	19,27	20,03	18,83	20,10	27,87	30,07	28,00	19,25		
	40	12119	4,28	34,63	16,97	18,30	19,17	19,57	19,83	18,50	18,33	18,00	17,83	20,00	28,07	30,97	28,00	18,47		

Lampiran 4.5 Perhitungan COP pada rangkaian seri

Diketahui:

$n = 127$	$\Delta T_{\max} = 66 \text{ K}$	$Q_{\max} = 43 \text{ W}$
$V \text{ daya } 20 \text{ W} = 11,5 \text{ V}$	$I \text{ daya } 20 \text{ W} = 1,74 \text{ A}$	$R \text{ daya } 20 \text{ W} = 6,571 \Omega$
$V \text{ daya } 30 \text{ W} = 14,0 \text{ V}$	$I \text{ daya } 30 \text{ W} = 2,14 \text{ A}$	$R \text{ daya } 30 \text{ W} = 6,542 \Omega$
$V \text{ daya } 40 \text{ W} = 16,4 \text{ V}$	$I \text{ daya } 40 \text{ W} = 2,51 \text{ A}$	$R \text{ daya } 40 \text{ W} = 6,457 \Omega$

Berikut adalah contoh perhitungan nilai COP rangkaian seri pada waktu 1 menit dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned} \text{Suhu sisi Dingin (K)} &= T_c = (T_1 + T_2) / 2 \\ &= (30,3^\circ\text{C} + 30,5^\circ\text{C}) / 2 \\ &= 30,4^\circ\text{C} = 303,6^\circ\text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Suhu sisi Panas (K)} &= T_h = T_3 + T_4 / 2 \\ &= (30,7^\circ\text{C} + 31,0^\circ\text{C}) / 2 \\ &= 30,9^\circ\text{C} = 304,0^\circ\text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Figur of Merit (K)} &= Z = \Delta T_{\max} / 0,5 T_c^2 \\ &= 66^\circ\text{K} / (0,5 \times 303,6^2^\circ\text{K}) \\ &= 0,001432562 / \text{K} \end{aligned}$$

$$\text{Konduktivitas termal termoelektrik (WK}^{-1}\text{)} = K = \frac{Q_{\max}}{(0,5 \times Z \times T_c^2 - (T_h - T_c))}$$

Koefisien Seebeck (V/K)

$$= 43 \text{ W} / (0,5 \times 0,001432562 / \text{K} \times 303,6^2 \text{ }^\circ\text{K} - (304,0 \text{ }^\circ\text{K} - 303,6 \text{ }^\circ\text{K}))$$

$$= 0,655987796 \text{ WK}^{-1}$$

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

$$= \sqrt{(0,001432562 / \text{K} \times 0,655987796 \text{ WK}^{-1} \times 6,571 \text{ } \Omega) / 127^2}$$

$$= 0,000618752 \text{ V/K}$$

Panas pada terminal dingin (W)

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

$$= (127 \times 0,000618752 \text{ V/K} \times 303,6 \text{ }^\circ\text{K} \times 1,74 \text{ A}) - (0,655987796 \text{ WK}^{-1} \times (304,0$$

$$\text{ }^\circ\text{K} - 303,6 \text{ }^\circ\text{K})) - (0,5 \times 1,74^2 \text{ A} \times 6,571 \text{ } \Omega)$$

$$= 31,26256922 \text{ W}$$

Daya yang diperlukan (W)

$$= W = n (\alpha_{pn}) (T_h - T_c) I + I^2 R$$

$$= (127 \times 0,000618752 \text{ V/K} \times (304,0 \text{ }^\circ\text{K} - 303,6 \text{ }^\circ\text{K})) \times 1,74 \text{ A} +$$

$$(1,74^2 \text{ A} \times 6,571 \text{ } \Omega)$$

$$= 19,95588892 \text{ W}$$

Coefficient of Performance

$$= \text{COP} = Q_c / W$$

$$= 31,26256922 \text{ W} / 19,95588892 \text{ W}$$

$$= 1,566583646$$

Waktu (Menit)	Daya (W)	T_c (K)	T_h (K)	I (A)	R (Ω)	Z (K)	K (WK^{-1})	q_{pn} (V/K)	Q_c (W)	W (W)	COP = Q_c/W
0	20	301,2	301,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	301,2	301,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	301,2	301,2	-	-	-	-	-	-	-	-
1	20	303,6	304,0	1,74	6,571	0,001432562	0,655987796	0,000618752	31,26256922	19,95588892	1,566583646
	30	300,4	301,2	2,14	6,542	0,00146325	0,660015349	0,000625875	35,54877702	30,10432856	1,180852679
	40	287,5	305,0	2,51	6,457	0,001596975	0,885684861	0,000752489	33,16785411	44,86549558	0,739273103
2	20	290,9	306,9	1,74	6,571	0,001559863	0,859140859	0,000738903	23,84848717	22,4987201	1,05999306
	30	285,6	305,7	2,14	6,542	0,001618294	0,935799782	0,00078374	27,09149759	34,23048831	0,791443503
	40	283,3	307,7	2,51	6,457	0,001645258	1,033653846	0,000825118	28,94023759	47,09750686	0,614474938
3	20	288,2	308,3	1,74	6,571	0,001589227	0,935799782	0,000778389	20,86283088	23,34312631	0,893746219
	30	283,2	307,7	2,14	6,542	0,001645839	1,036144578	0,000831678	23,6472925	35,4975656	0,666166598
	40	281,9	308,3	2,51	6,457	0,001661643	1,085858586	0,000849899	27,35289703	47,83209314	0,571852395
4	20	287,0	308,4	1,74	6,571	0,001603103	0,965207632	0,000793968	19,69480925	23,65778567	0,832487433
	30	282,3	308,0	2,14	6,542	0,00165635	1,065675341	0,000846136	22,6040545	35,85828903	0,630371808
	40	281,1	308,3	2,51	6,457	0,001671117	1,109677419	0,000861615	26,61380162	48,16415228	0,552564519
5	20	286,0	308,3	1,74	6,571	0,001613771	0,982857143	0,000803856	18,98815978	23,84676177	0,796257369
	30	281,6	307,8	2,14	6,542	0,001665186	1,081761006	0,000854769	22,03051646	36,0578559	0,610976885
	40	280,5	308,4	2,51	6,457	0,001678275	1,130091984	0,000871365	25,97325258	48,44327766	0,536158035
6	20	285,6	308,0	1,74	6,571	0,001618861	0,986233532	0,000806506	18,8523051	23,88652737	0,78924428
	30	281,2	307,7	2,14	6,542	0,001669928	1,088607595	0,000858689	21,7852981	36,1441703	0,602733385
	40	280,0	308,2	2,51	6,457	0,001683673	1,137566138	0,000875647	25,7371371	48,55120918	0,530102906
7	20	285,2	307,8	1,74	6,571	0,001623406	0,99078341	0,000809496	18,66946926	23,93710483	0,779938484

30	20	280,8	307,4	2,14	6,542	0,00167469	1,092757306	0,00086155	21,63635526	36,19989733	0,597691067
	40	279,8	308,3	2,51	6,457	0,001686081	1,146666667	0,000879771	25,44850492	48,67241463	0,522852731
8	20	284,9	307,9	1,74	6,571	0,001626256	0,998883856	0,000813494	18,34476067	24,01998544	0,763729051
	30	280,5	307,4	2,14	6,542	0,001677676	1,098339719	0,000864518	21,4356158	36,26838367	0,591027601
9	20	279,5	307,9	2,51	6,457	0,001690307	1,145139814	0,000880286	25,49701722	48,6630649	0,52395009
	40	284,8	307,8	1,74	6,571	0,001627399	0,998883856	0,000813779	18,34476067	24,02143404	0,763682994
10	20	280,5	307,2	2,14	6,542	0,001678275	1,094147583	0,00086302	21,58640192	36,22227261	0,595942782
	40	279,4	308,0	2,51	6,457	0,001691518	1,14973262	0,000882365	25,35098619	48,72411249	0,520296521
15	20	284,7	307,8	1,74	6,571	0,001628733	1,001552795	0,000815218	18,23515993	24,04974844	0,758226639
	30	280,2	307,8	2,14	6,542	0,001681871	1,12125163	0,00087458	20,60729661	36,53196273	0,564089501
20	20	279,3	308,1	2,51	6,457	0,00169172	1,153846154	0,000883995	25,21992779	48,77654326	0,51705033
	40	284,1	307,4	1,74	6,571	0,001636004	1,008206331	0,000819745	17,96609278	24,12414904	0,744734778
20	20	280,1	307,8	2,14	6,542	0,001682471	1,122715405	0,000875307	20,5541392	36,54931979	0,562367215
	40	278,9	308,0	2,51	6,457	0,001697589	1,166892809	0,00089052	24,80260925	48,95458317	0,506645295
25	20	284,0	307,7	1,74	6,571	0,001636772	1,016548463	0,000823323	17,62794833	24,20628745	0,728238412
	30	279,7	307,5	2,14	6,542	0,001687086	1,12565445	0,000877653	20,44732145	36,59083449	0,558809924
30	20	278,6	308,2	2,51	6,457	0,001701044	1,183486239	0,000897741	24,26827258	49,16954241	0,4933563116
	40	283,9	307,5	1,74	6,571	0,00163831	1,014150943	0,000822738	17,72522023	24,18504183	0,732900127
35	20	279,7	307,7	2,14	6,542	0,001687891	1,131578947	0,000880169	20,23165419	36,65768926	0,551907515
	40	278,3	307,9	2,51	6,457	0,001704306	1,181318681	0,000897778	24,33829585	49,15081278	0,495175857
30	20	283,6	307,6	1,74	6,571	0,001641007	1,022997621	0,000826998	17,365938	24,2742692	0,715405183
	30	279,5	307,6	2,14	6,542	0,0016893	1,134065934	0,000881504	20,14098452	36,68780873	0,548983033
35	20	278,3	308,2	2,51	6,457	0,001704102	1,191685912	0,000901655	24,0027776	49,27840955	0,487085071
	40	283,7	307,5	1,74	6,571	0,001640043	1,018957346	0,000825121	17,53014307	24,23393832	0,723371614

30	279,3	308,0	2,14	6,542	0,00169273	1,154362416	0,000890259	19,39803613	36,91593848	0,525465068
	278,1	308,0	2,51	6,457	0,001707372	1,191135734	0,000902311	24,02062141	49,2798753	0,487432674
20	283,7	307,5	1,74	6,571	0,001640236	1,018957346	0,000825169	17,53014307	24,23419328	0,723364003
	279,0	307,7	2,14	6,542	0,001695359	1,150245207	0,00088936	19,54917239	36,87668597	0,53012281
40	278,1	308,1	2,51	6,457	0,001707372	1,194997684	0,000903773	23,89527766	49,32741703	0,484421831
	283,5	307,3	1,74	6,571	0,001642937	1,018957346	0,000825849	17,53014307	24,23776579	0,7233257384
45	279,0	307,9	2,14	6,542	0,001695764	1,15902965	0,000892856	19,22644954	36,9726315	0,520018423
	278,0	307,9	2,51	6,457	0,001707986	1,189488243	0,000901849	24,0740286	49,26109731	0,488702646
20	283,4	307,4	1,74	6,571	0,001643131	1,023809524	0,000827861	17,33291617	24,28493912	0,713731094
	279,1	307,8	2,14	6,542	0,001694347	1,150758252	0,000889293	19,5303511	36,880191	0,529562092
40	277,9	307,9	2,51	6,457	0,001709216	1,1933395	0,000903633	23,94912148	49,31167707	0,485668363
	283,8	307,5	1,74	6,571	0,001639465	1,016548463	0,000824	17,62794833	24,20983323	0,728131754
55	279,1	308,0	2,14	6,542	0,001695157	1,160593792	0,000893299	19,16888377	36,98824356	0,518242607
	278,0	307,9	2,51	6,457	0,001708601	1,192787795	0,000903262	23,96702767	49,30333017	0,486113769
20	283,7	307,4	1,74	6,571	0,001640621	1,016548463	0,00082429	17,62794833	24,21135464	0,728085999
	279,1	307,6	2,14	6,542	0,001694347	1,146004531	0,000887454	19,7046151	36,8284974	0,535037172
40	277,8	307,7	2,51	6,457	0,001710241	1,191685912	0,000903278	24,0027776	49,29388498	0,486932154

Lampiran 4.6 Perhitungan COP pada rangkaian paralel

Diketahui:

$n = 127$	$\Delta T_{\max} = 66 \text{ K}$	$Q_{\max} = 43 \text{ W}$
$V \text{ daya } 20 \text{ W} = 5,9 \text{ V}$	$I \text{ daya } 20 \text{ W} = 3,45 \text{ A}$	$R \text{ daya } 20 \text{ W} = 1,710 \Omega$
$V \text{ daya } 30 \text{ W} = 7,2 \text{ V}$	$I \text{ daya } 30 \text{ W} = 4,23 \text{ A}$	$R \text{ daya } 30 \text{ W} = 1,702 \Omega$
$V \text{ daya } 40 \text{ W} = 8,3 \text{ V}$	$I \text{ daya } 40 \text{ W} = 4,96 \text{ A}$	$R \text{ daya } 40 \text{ W} = 1,673 \Omega$

Berikut adalah contoh perhitungan nilai COP rangkaian paralel pada waktu 1 menit dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned} \text{Suhu sisi Dingin (K)} &= T_c = (T1 + T2) / 2 \\ &= (14,0^\circ\text{C} + 13,3^\circ\text{C}) / 2 \\ &= 13,7^\circ\text{C} = 286,8^\circ\text{K} \\ \text{Suhu sisi Panas (K)} &= T_h = T3 + T4 / 2 \\ &= (28,5^\circ\text{C} + 28,2^\circ\text{C}) / 2 \\ &= 28,4^\circ\text{C} = 301,5^\circ\text{K} \\ \text{Figur of Merit (K)} &= Z = \Delta T_{\max} / 0,5 T_c^2 \\ &= 66^\circ\text{K} / (0,5 \times 286,8^2^\circ\text{K}) \\ &= 0,0016048 / \text{K} \end{aligned}$$

$$\text{Konduktivitas termal termoelektrik (WK}^{-1}\text{)} = K = \frac{Q_{\max}}{(0,5 \times Z \times T_c^2 - (T_h - T_c))}$$

$$= 43\text{W} / (0,5 \times 0,0016048 / \text{K} \times 286,8^\circ\text{K} - (301,5^\circ\text{K} - 286,8^\circ\text{K}))$$

$$= 0,8382066 \text{ WK}^{-1}$$

Koefisien Seebeck (V/K)

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

$$= \sqrt{(0,0016048 / \text{K} \times 0,8382066 \text{ WK}^{-1} \times 1,710 \Omega) / 127^2}$$

$$= 0,0003776 \text{ V/K}$$

Panas pada terminal dingin (W)

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

$$= (127 \times 0,0003776 \text{ V/K} \times 286,8^\circ\text{K} \times 3,45 \text{ A}) - (0,8382066 \text{ WK}^{-1} \times (301,5^\circ\text{K} - 286,8^\circ\text{K})) - (0,5 \times 3,45^2 \text{ A} \times 1,710 \Omega)$$

$$= 24,9564719 \text{ W}$$

Daya yang diperlukan (W)

$$= W = n (\alpha_{pn}) (T_h - T_c) I + I^2 R$$

$$= (127 \times 0,0003776 \text{ V/K} \times (301,5^\circ\text{K} - 286,8^\circ\text{K})) \times 3,45 \text{ A} + (3,45^2 \text{ A} \times 1,710 \Omega)$$

$$= 22,785579 \text{ W}$$

Coefficient of Performance

$$= \text{COP} = Q_c / W$$

$$= 24,9564719 \text{ W} / 22,785579 \text{ W}$$

$$= 1,0952749$$

Waktu (Menit)	Daya (W)	T_c (K)	T_h (K)	I (A)	R (Ω)	Z (K)	K (WK^{-1})	q_{pn} (V/K)	Q_c (W)	W (W)	COP = Q_c/W
0	20	301,2	301,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	301,2	301,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	301,2	301,2	-	-	-	-	-	-	-	-
1	20	286,8	301,5	3,45	1,710	0,0016048	0,8382066	0,0003776	24,9564719	22,785579	1,0952749
	30	287,2	303,2	4,23	1,702	0,0016009	0,8608609	0,0003813	29,7829042	33,7417764	0,8826715
	40	286,5	306,7	4,96	1,673	0,0016087	0,9388646	0,0003958	31,8754092	46,1948818	0,6900204
2	20	284,6	303,6	3,45	1,710	0,0016297	0,9148936	0,0003976	22,0184308	23,6631235	0,9304955
	30	283,3	305,1	4,23	1,702	0,0016453	0,9739524	0,0004112	26,0636976	35,2804958	0,7387566
	40	283,1	308,8	4,96	1,673	0,001647	1,0656753	0,0004267	28,1764496	48,0525608	0,5863673
3	20	283,7	304,2	3,45	1,710	0,0016406	0,9450549	0,0004054	20,8383771	23,9949712	0,8684477
	30	281,9	305,3	4,23	1,702	0,0016616	1,0093897	0,0004207	24,8529994	35,7422383	0,6953398
	40	281,5	309,1	4,96	1,673	0,0016658	1,1183355	0,0004396	26,5582043	48,7870949	0,5443695
4	20	283,2	304,2	3,45	1,710	0,0016464	0,9566185	0,0004086	20,3825206	24,1221265	0,844972
	30	281,0	305,1	4,23	1,702	0,0016723	1,0274791	0,0004258	24,2273478	35,9780724	0,673392
	40	280,6	309,2	4,96	1,673	0,0016765	1,1497326	0,0004471	25,5726046	49,2139936	0,5196206
5	20	282,6	304,1	3,45	1,710	0,0016534	0,9662921	0,0004116	19,9997416	24,2303258	0,8254013
	30	280,4	305,0	4,23	1,702	0,0016795	1,0386473	0,000429	23,8385809	36,1236199	0,6599167
	40	280,2	309,1	4,96	1,673	0,0016813	1,1574697	0,0004493	25,3274396	49,3233439	0,513498
6	20	282,3	304,2	3,45	1,710	0,0016569	0,9750567	0,0004139	19,6518327	24,3245432	0,8079014
	30	279,9	304,8	4,23	1,702	0,0016849	1,0462287	0,0004313	23,5736072	36,2229328	0,6507923
	40	279,6	308,5	4,96	1,673	0,0016885	1,1574697	0,0004502	25,3274396	49,340865	0,5133157
7	20	282,1	304,3	3,45	1,710	0,0016593	0,9817352	0,0004156	19,3860361	24,3955714	0,7946539

30	20	279,7	304,7	4,23	1,702	0,0016879	1,0487805	0,0004322	23,484229	36,2583465	0,6476917
	40	279,4	308,7	4,96	1,673	0,0016915	1,1732606	0,0004537	24,8243362	49,5467638	0,5010284
8	20	281,9	304,4	3,45	1,710	0,0016611	0,9873708	0,000417	19,1612791	24,4549905	0,7835325
	30	279,5	304,6	4,23	1,702	0,0016903	1,0513447	0,000433	23,394317	36,2928612	0,6445983
9	40	279,0	308,4	4,96	1,673	0,0016958	1,1732606	0,0004543	24,8243362	49,5572867	0,500922
	20	281,9	304,5	3,45	1,710	0,0016611	0,9907834	0,0004177	19,0249779	24,4895256	0,7768618
10	30	279,3	304,6	4,23	1,702	0,0016927	1,0565111	0,0004344	23,2128741	36,3580574	0,638452
	40	278,7	308,5	4,96	1,673	0,0016998	1,1878453	0,0004576	24,3564468	49,7491618	0,4895851
15	20	281,5	303,9	3,45	1,710	0,0016664	0,9873708	0,0004177	19,1612791	24,4615486	0,7833224
	30	278,9	304,6	4,23	1,702	0,001697	1,0669975	0,0004371	22,84333907	36,4886623	0,6260408
20	40	278,4	307,9	4,96	1,673	0,0017037	1,1780822	0,0004563	24,6699935	49,6372926	0,4970052
	20	281,2	304,2	3,45	1,710	0,0016689	0,9996126	0,0004206	18,6716257	24,5883996	0,7593673
25	30	278,5	304,5	4,23	1,702	0,0017025	1,0763454	0,0004397	22,5126893	36,6075169	0,6149745
	40	277,9	307,5	4,96	1,673	0,0017098	1,1829436	0,000458	24,5140377	49,7133372	0,4931079
30	20	281,1	304,5	3,45	1,710	0,0016705	1,0101801	0,000423	18,2473725	24,6961442	0,7388754
	30	278,1	304,3	4,23	1,702	0,0017063	1,0799498	0,000441	22,3848463	36,6564159	0,6106665
35	40	278,0	307,9	4,96	1,673	0,0017082	1,1922366	0,0004596	24,2149751	49,8247856	0,4860026
	20	281,2	304,3	3,45	1,710	0,0016699	1,0035006	0,0004215	18,515701	24,628666	0,7517947

30	278,3	304,6	4,23	1,702	0,0017043	1,0831234	0,0004414	22,2721273	36,6894648	0,6070442
	40	278,0	308,0	4,96	1,673	0,0017086	1,1944444	0,0004601	24,143743	49,8531681
40	281,1	304,4	3,45	1,710	0,0016705	1,0070258	0,0004223	18,3741596	24,6646866	0,7449582
	30	278,5	304,9	4,23	1,702	0,0017019	1,0844893	0,0004413	22,2235725	36,7007684
40	277,8	307,9	4,96	1,673	0,0017107	1,1977716	0,000461	24,0362689	49,8995333	0,4816933
45	281,1	304,5	3,45	1,710	0,0016705	1,0082063	0,0004226	18,3267223	24,6764704	0,7426801
	30	278,5	304,9	4,23	1,702	0,0017025	1,0872314	0,000442	22,1260155	36,7335264
40	277,8	307,9	4,96	1,673	0,0017104	1,1961057	0,0004607	24,0901002	49,8784194	0,4829764
50	280,9	304,1	3,45	1,710	0,0016735	1,0066329	0,0004226	18,3899435	24,6645963	0,7456008
	30	278,4	304,7	4,23	1,702	0,0017037	1,0831234	0,0004413	22,2721273	36,6883447
40	277,6	308,0	4,96	1,673	0,0017133	1,2073	0,0004632	23,727623	50,0237539	0,4743271
55	280,8	303,8	3,45	1,710	0,0016747	1,0011641	0,0004216	18,6094245	24,6112972	0,7561334
	30	278,5	304,8	4,23	1,702	0,0017025	1,0844893	0,0004414	22,2235725	36,7018902
40	277,7	307,7	4,96	1,673	0,0017123	1,1961057	0,0004609	24,0901002	49,8831304	0,4829308
60	280,5	303,6	3,45	1,710	0,0016777	1,0027206	0,0004223	18,5469986	24,6307396	0,7530021
	30	278,2	304,6	4,23	1,702	0,0017059	1,0867734	0,0004423	22,1423166	36,7346386
40	277,4	307,8	4,96	1,673	0,001715	1,2061711	0,0004632	23,7642551	50,0141408	0,4751507

Lampiran 4.7 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 rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W:

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14}) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (301,7^{\circ}\text{K} - 296,6^{\circ}\text{K}) \\ &= 2,098 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W:

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dinding}} & = k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14}) \\
 & = 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (300,2^{\circ}\text{K} - 293,6^{\circ}\text{K}) \\
 & = 2,698 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W:

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14}) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (300,2^{\circ}\text{K} - 293,5^{\circ}\text{K}) \\ &= 2,725 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W:

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14}) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (300,9^{\circ}\text{K} - 294,2^{\circ}\text{K}) \\ &= 2,725 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W:

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dinding}} & = k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14}) \\
 & = 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (300,9^{\circ}\text{K} - 293,1^{\circ}\text{K}) \\
 & = 3,175 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor dinding rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W:

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= k_{\text{dinding}} S_{\text{total}} (T_{15} - T_{14}) \\ &= 0,02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 20,44 \text{ m} \times (301,1^{\circ}\text{K} - 293,0^{\circ}\text{K}) \\ &= 3,298 \text{ W} \end{aligned}$$

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 rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p_{\text{aluminium}}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\ &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 10,5^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,174 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p_{\text{aluminium}}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\ &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 6,0^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,220 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p_{\text{aluminium}}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\ &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 4,7^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 0,233 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 7,4^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,206 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 5,0^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,229 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor aluminium rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{aluminium}} &= m_{\text{aluminium}} C_{p\text{aluminium}} \Delta T_{\text{aluminium}} / t \\
 &= 0,04 \text{ kg} \times 897 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 4,3^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,236 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3. Beban kalor Udara

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 V_{\text{udara}} &= 5,5 \text{ Liter} = 0,0055 \text{ m}^3 \\
 \rho_{\text{udara}} &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \\
 C_{p\text{udara}} &= 1000 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \\
 t &= 60 \text{ menit} = 3600 \text{ detik} \\
 m_{\text{udara}} &= \rho V \\
 &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,0055 \text{ m}^3 \\
 &= 0,0066 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\
 &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 19,9^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,015 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\
 &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 19,5^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,016 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\
 &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 18,8^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,017 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\
 &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 19,4^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,016 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\
 &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 18,5^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,017 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor udara rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= m_{\text{udara}} C_{p\text{udara}} \Delta T_{\text{udara}} / t \\
 &= 0,0066 \text{ kg} \times 1000 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 17,0^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\
 &= 0,020 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4. Beban kalor Vaksin

Diketahui :

$$m_{\text{vaksin}} = 240 \text{ ml} = 0,24 \text{ kg}$$

$$C_{p\text{vaksin}} = 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

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

Berikut adalah perhitungan beban kalor vaksin rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaksin}} &= m_{\text{vaksin}} C_{p\text{vaksin}} \Delta T_{\text{vaksin}} / t \\ &= 0,50 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 21,3^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 1,860 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor vaksin rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaksin}} &= m_{\text{vaksin}} C_{p\text{vaksin}} \Delta T_{\text{vaksin}} / t \\ &= 0,50 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 20,5^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 2,102 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor vaksin rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaksin}} &= m_{\text{vaksin}} C_{p\text{vaksin}} \Delta T_{\text{vaksin}} / t \\ &= 0,50 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 19,3^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 2,419 \text{ W} \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban kalor vaksin rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaksin}} &= m_{\text{vaksin}} C_{p\text{vaksin}} \Delta T_{\text{vaksin}} / t \\ &= 0,50 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 20,0^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 2,220 \text{ W} \end{aligned}$$

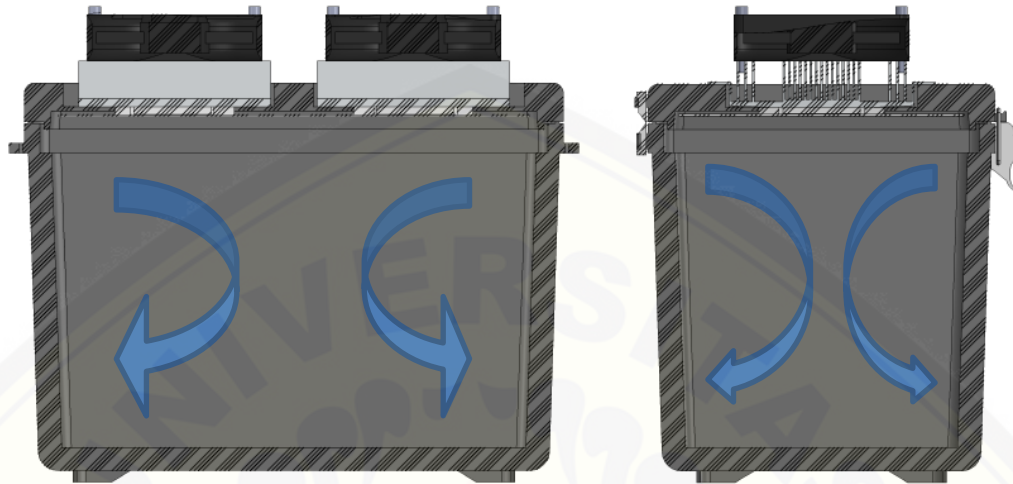
Berikut adalah perhitungan beban kalor vaksin rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaksin}} &= m_{\text{vaksin}} C_{p\text{vaksin}} \Delta T_{\text{vaksin}} / t \\ &= 0,50 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 19,3^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 2,441 \text{ W} \end{aligned}$$

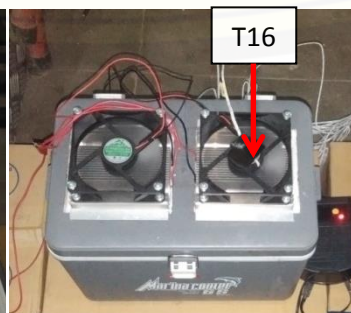
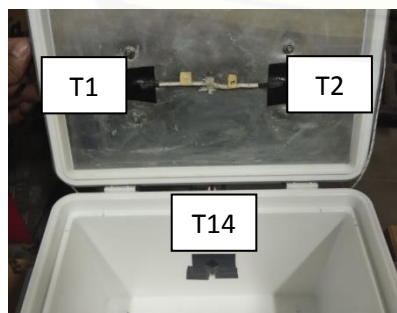
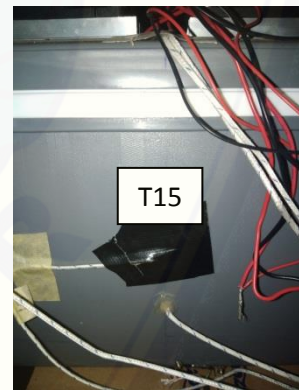
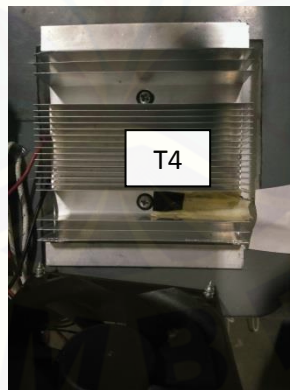
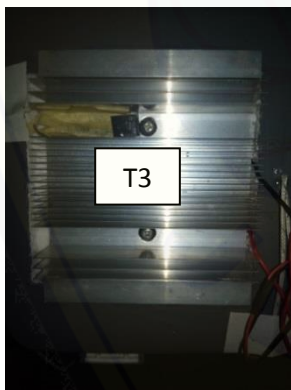
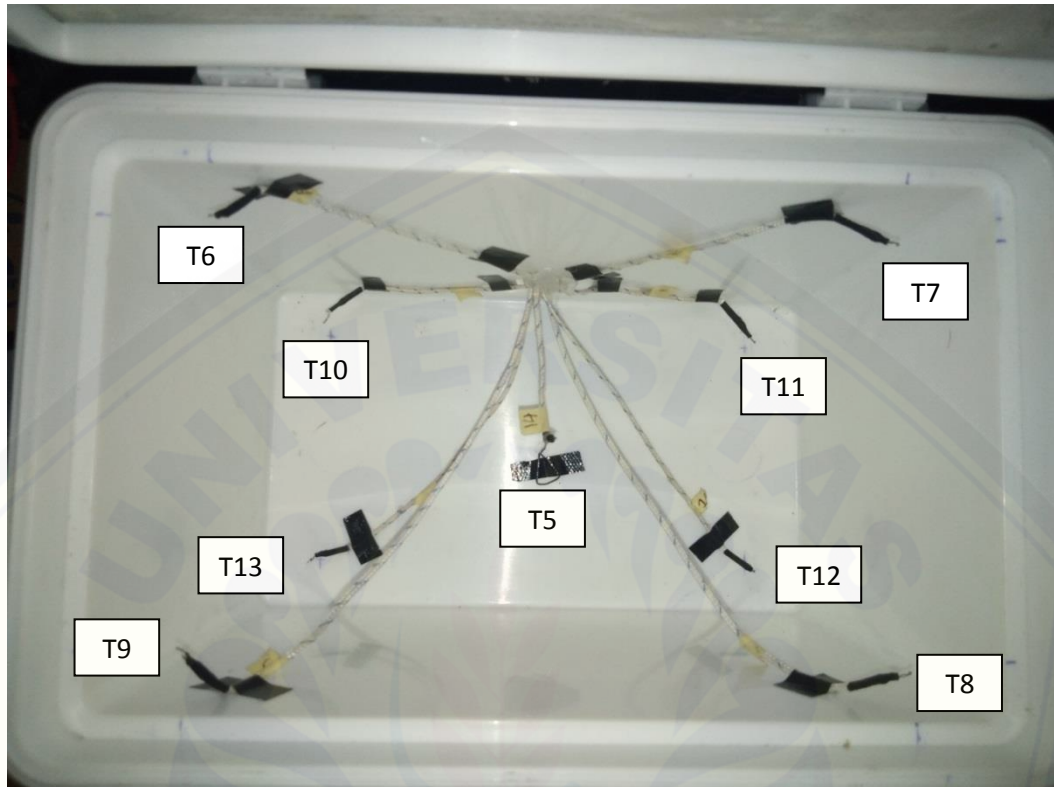
Berikut adalah perhitungan beban kalor vaksin rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaksin}} &= m_{\text{vaksin}} C_{p\text{vaksin}} \Delta T_{\text{vaksin}} / t \\ &= 0,50 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (28,0^{\circ}\text{C} - 18,5^{\circ}\text{C}) / 3600 \text{ detik} \\ &= 2,660 \text{ W} \end{aligned}$$

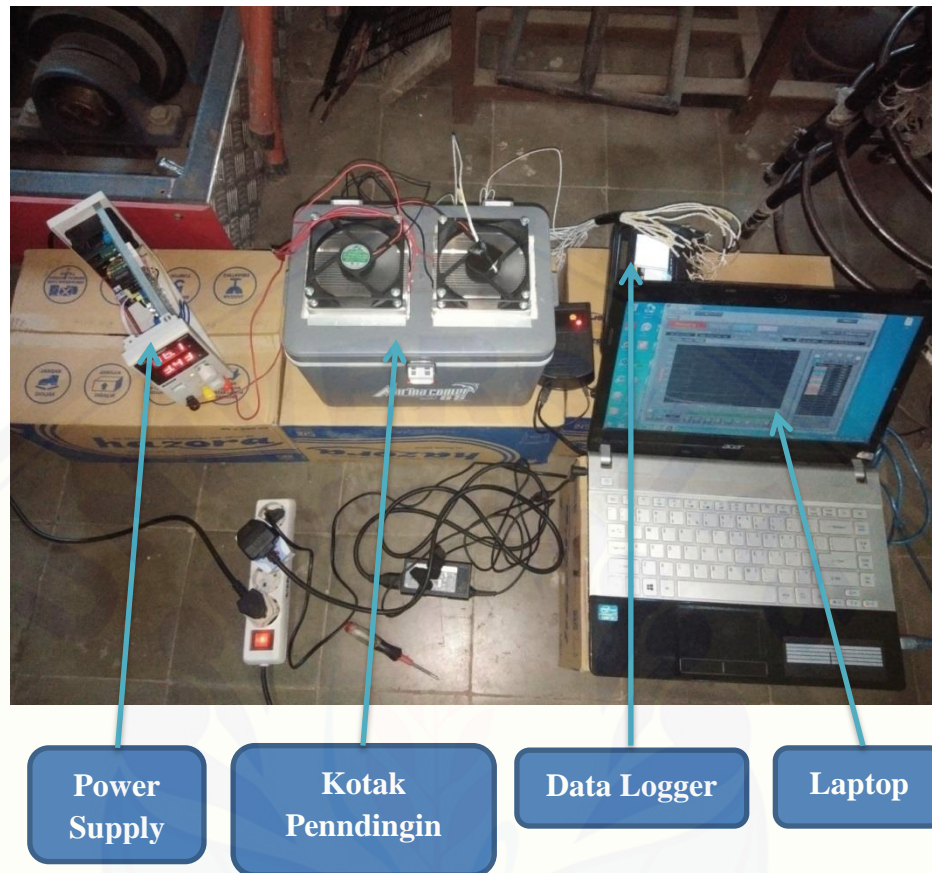
Lampiran 4.8 Sirkulasi udara pada kotak pendingin



Lampiran 4.9 Gambar titik pengambilan data



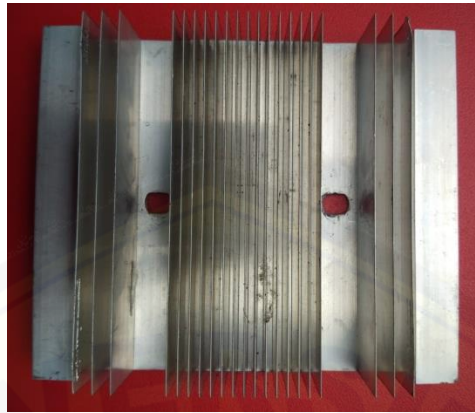
Lampiran 4.10 Gambar alat penelitian



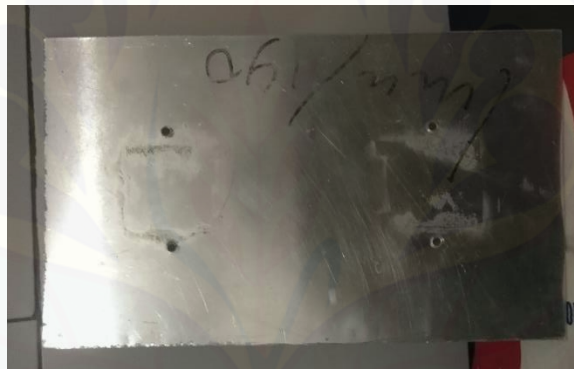
Lampiran 4.11 Gambar kotak pendingin



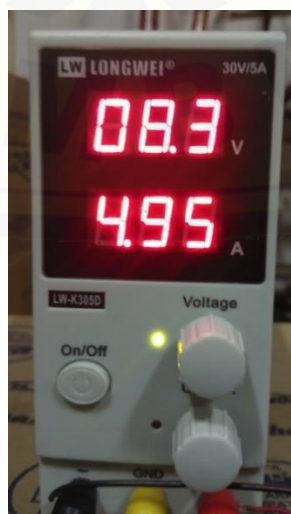
Lampiran 4.12 Gambar *heatsink* sisi panas TEC



Lampiran 4.13 Gambar *heatsink* sisi dingin TEC



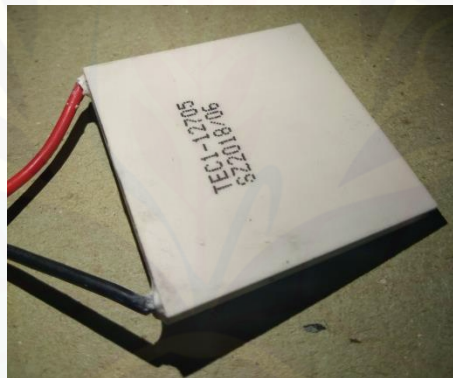
Lampiran 4.14 Gambar *power supply*



Lampiran 4.15 Gambar kipas DC



Lampiran 4.16 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 4.17 Gambar vaksin



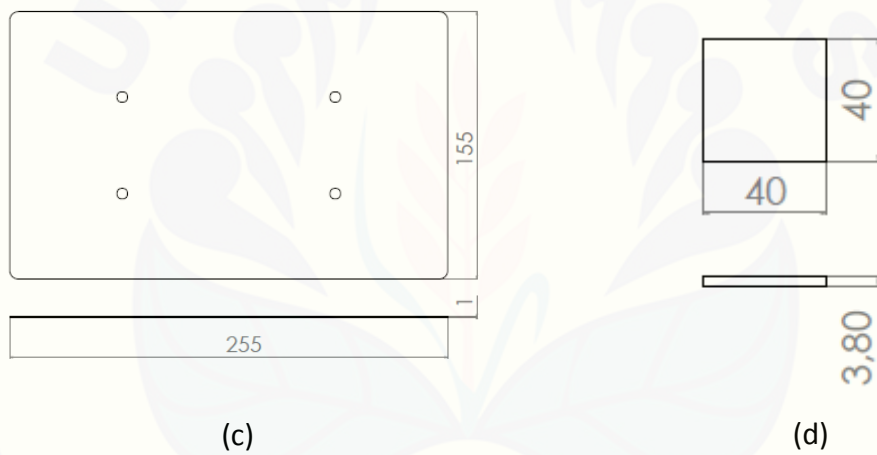
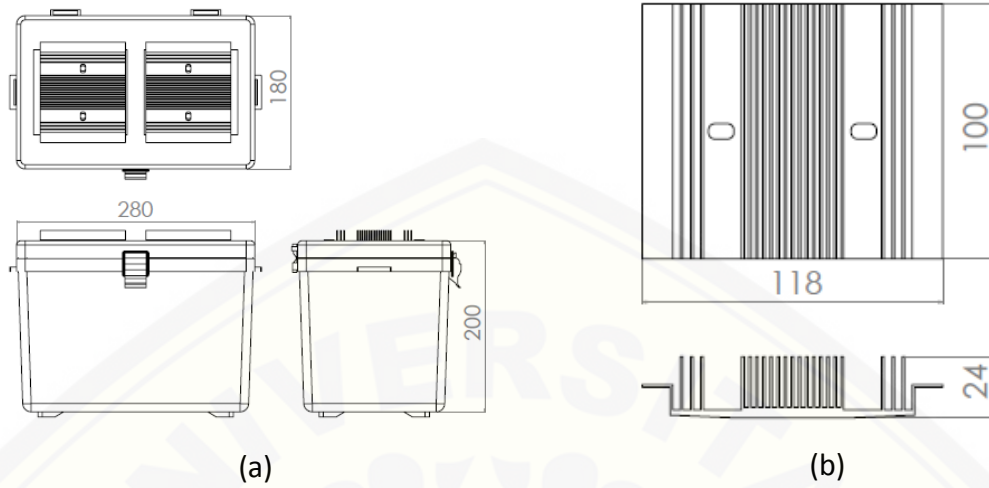
Lampiran 4.18 Gambar Tachometer



Lampiran 4.19 Gambar Data Logger Midi LOGGER GL200A



Lampiran 4.20 Ukuran alat dan bahan



Keterangan :

(a) : Kotak pendingin

(b) : *Hetasink* sisi panas,

(c) : *Heatsink* sisi dingin

(d) : Elemen termoelektrik (*peltier*)