



TUGAS AKHIR - TF 181801

**SIMULASI PENGARUH VARIASI GEOMETRI
TERMoeLEKTRIK TERHADAP UNJUK KERJA
*MEDICAL COOLBOX***

**GIFFARI MUSLIH
NRP. 023 117 450 00021**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - TF 181801

***SIMULATION OF THE GEOMETRY
THERMOELECTRIC'S EFFECT TO
MEDICAL COOLBOX PERFORMANCE***

GIFFARI MUSLIH
NRP. 023 117 450 00021

Supervisors :
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Giffari Muslih
NRP : 02311745000021
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**Simulasi Pengaruh Variasi Geometri Termoelektrik Terhadap Unjuk Kerja *Medical Coolbox***" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 25 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Giffari Muslih

NRP. 02311745000021

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**SIMULASI PENGARUH VARIASI GEOMETRI
TERMOELEKTRIK TERHADAP UNJUK KERJA
MEDICAL COOLBOX**

Oleh:

Giffari Muslih

NRP. 02311745000021

Surabaya, 25 Juli 2019

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I**



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing II**



Erna Septyaningrum, S.T., M.T.
NPP. 1992201912073

**Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

**SIMULASI PENGARUH VARIASI GEOMETRI
TERMOELEKTRIK TERHADAP UNJUK KERJA
MEDICAL COOLBOX**





TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GIFFARI MUSLIH
NRP. 0231174500021

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Erna Septyaningrum, S.T., M.T.  (Pembimbing II)
3. Ir. Sarwono, M.M.  (Penguji I)
4. Dr. Suyanto, S.T., M.T.  (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2019

**SIMULASI PENGARUH VARIASI GEOMETRI
TERMOELEKTRIK TERHADAP UNJUK KERJA
*MEDICAL COOLBOX***

Nama : Giffari Muslih
NRP : 02311745000021
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

Abstrak

Termoelektrik merupakan sebuah piranti yang dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi kalor atau sebaliknya. Pada penelitian ini, dilakukan sebuah simulasi termoelektrik yang terintegrasi dengan simulasi proses pendinginan *medical coolbox*. Pada simulasi termoelektrik didapatkan pengaruh ketinggian p-n semikonduktor dan jumlah *couple* p-n semikonduktor yang terdapat dalam *module* termoelektrik terhadap distribusi temperatur, tegangan dan daya listrik yang dibutuhkan sehingga dapat ditentukan C.O.P dari termoelektrik itu sendiri. Tahapan simulasi proses pendinginan pada *medical coolbox* terlebih dahulu mensimulasikan proses perpindahan kalor pada *heatsink* (variasi jumlah *fin*) dengan menggabungkan termoelektrik dan hasilnya didapatkan temperatur pendinginan yang dijadikan sebagai kondisi batas saat mensimulasikan distribusi temperatur pada *medical coolbox* dengan variasi kecepatan udara di dalam *box* tersebut. Sehingga pada penelitian ini didapatkan desain terbaik sistem adalah termoelektrik yang memiliki ketinggian semikonduktor sebesar 0,5 mm, banyaknya *couple* semikonduktor sebanyak 242 dan jumlah *fin heatsink* sebanyak 10 *fin* dengan 16,97°C temperatur sisi dingin termoelektrik, 17,44°C pada dinding *box*, 17,37°C pada udara bebas di dalam *medical coolbox* dan 19,2°C pada produk insulin selama 2500 detik.

Kata kunci : distribusi temperatur, *heatsink*, *medical coolbox*, termoelektrik, variasi geometri

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

***SIMULATION OF THE GEOMETRY
THERMOELECTRIC'S EFFECT TO MEDICAL
COOLBOX PERFORMANCE***

Name : Giffari Muslih
NRP : 02311745000021
Departement : *Engineering Physics FTI-ITS*
Supervisors : *Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.*
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

Abstract

Thermoelectric is a device that can convert electrical energy into heat energy or vice versa. In this study, a thermoelectric simulation was conducted which was integrated with the simulation of the medical coolbox cooling process. In the thermoelectric simulation the influence of the height of the semiconductor p-n and the number of p-n semiconductor couples contained in the thermoelectric module on the distribution of temperature, voltage and electrical power are needed so that C.O.P can be determined from the thermoelectric itself. The simulation stage of the cooling process in the medical coolbox by simulating the heat transfer process on the heatsink (variation in number of fin) by combining with thermoelectric and the results obtained cooling temperature which is used as a boundary condition when simulating the temperature distribution in the medical coolbox with variations in air velocity in the box. So that in this study the best system design was obtained that the thermoelectric has a semiconductor height of 0.5 mm, the number of 242 p-n semiconductor couples and 10 fins of heatsink with a thermoelectric cooling temperature of 16.97°C, a cooling air temperature of 17,37°C, the temperature of the box wall is 17,44°C, and the product temperature is 19.2°C from the initial temperature of 25°C.

Keywords : *geometry variations, heatsinks, medical coolbox, temperature distribution, thermoelectric*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Simulasi Pengaruh Variasi Geometri Termoelektrik terhadap Unjuk Kerja *Medical Coolbox*”**. Tugas akhir ini membahas mengenai efek perubahan geometri terhadap temperature pendinginan dan C.O.P sistem yang dihasilkan oleh termoelektrik *cooler*.

Penulis telah memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Muslih dan Ibu Euis Ningsih serta adik Achmad Fauzi dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi dan do'a.
2. Agus Muhamad Hatta, S.T. M.Si, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
3. Dr. Ridho Hantoro S.T., M.T. dan Erna Septyaningrum S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
4. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika FTI ITS.
5. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membimbing selama perkuliahan.
6. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
7. Teman – teman Departemen Teknik Fisika angkatan Lintas Jalur 2017 dan Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan.
8. Sahabat Riky, Rizal, Ayu, Mbak Al, Zuhaida, Satria, Adam, Banu, Maliki, Rizki, Nur, Esti, Mas Urfaa, Tasya dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, termasuk Iqbal, Cesa, Kiki, Putri Lailatul, Mas Aji.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan ilmu bagi banyak orang.

Surabaya, 25 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>PAGE TITLE</i>	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN I	vii
LEMBAR PENGESAHAN II	ix
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR SIMBOL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sejarah Termoelektrik	5
2.2 Prinsip Kerja Termoelektrik.....	8
2.3 Perhitungan Beban Pendinginan	11
2.4 Perpindahan Kalor Konduksi	12
2.5 Perpindahan Kalor Konveksi	13
2.6 Termodinamika Sistem Pendinginan Termoelektrik	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Tahapan Penelitian	17
3.2 Penentuan Ukuran dan Bahan Penyusun dari Sistem Pendingin Termoelektrik dan <i>Medical Coolbox</i>	19
3.3 Penentuan Variasi Geometri Sistem Pendingin Termoelektrik.....	25
3.4 Proses Simulasi Sistem Pendinginan Termoelektrik	26
3.5 Validasi Hasil Simulasi.....	34
3.6 Analisis Data	35
3.7 Penarikan Kesimpulan	35

3.8 Penyusunan Laporan Akhir.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Validasi Hasil Simulasi	37
4.2 Analisis Termodinamika pada Simulasi Termoelektrik ..	39
4.3 Pengaruh Geometri terhadap Tegangan, Daya Listrik dan C.O.P pada Termoelektrik	44
4.4 Analisa Pengaruh Geometri <i>Heatsink</i> pada Termoelektrik Terhadap Distribusi Temperatur Sisi Dingin	48
4.5 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Proses Pendinginan <i>Medical Coolbox</i>	51
4.6 Diskusi	56
BAB V PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fenomena efek Seebeck pada termoelektrik semikonduktor (Zervos, Dr. Harry, 2012)	5
Gambar 2.2	Fenomena efek Peltier pada termoelektrik semikonduktor (Zervos, Dr. Harry, 2012)	6
Gambar 2.3	Efek Thomson (Mani, Pooja Iyer, 2016)	7
Gambar 2.4	Arah aliran (a) elektron pada modul termoelektrik (b) kalor untuk tipe n dari efek Peltier dan (c) kalor untuk jenis p dari efek Peltier (Mangsur, 2010)....	9
Gambar 2.5	Perpindahan kalor secara keseluruhan (Kresnoadi, 2017).....	12
Gambar 2.6	Skema perpindahan kalor konduksi (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014).....	12
Gambar 2.7	Skema perpindahan kalor konveksi (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014).....	13
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	17
Gambar 3.2	Diagram blok simulasi <i>medical coolbox</i> berbasis termoelektrik	18
Gambar 3.3	Desain geometri <i>medical coolbox</i> berbasis termoelektrik	20
Gambar 3.4	(a) Bentuk desain termoelektrik (b) ukuran geometri termoelektrik pada penelitian sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018)	22
Gambar 3.5	Bentuk dan dimensi <i>heatsink</i> yang dipakai dalam simulasi (Harsono, Prasetyo, 2015).....	22
Gambar 3.6	Geometri untuk (a) simulasi variasi <i>heatsink</i> dan (b) simulasi kecepatan udara dingin pada <i>medical coolbox</i>	27
Gambar 3.7	Hasil <i>meshing</i> pada simulasi termoelektrik.....	29
Gambar 3.8	Hasil <i>meshing</i> pada simulasi <i>heatsink</i> yang digabung dengan termoelektrik pada salah satu aplikasi CFD.....	29
Gambar 3.9	Hasil <i>meshing</i> pada simulasi <i>medical coolbox</i>	30
Gambar 3.10	Letak kondisi batas simulasi termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018)	31

Gambar 3.11	Letak kondisi batas simulasi <i>heatsink</i> dan termoelektrik	32
Gambar 3.12	Kontur temperatur termoelektrik <i>cooler</i>	33
Gambar 3.13	Kontur temperatur <i>heatsink</i>	34
Gambar 3.14	Kontur temperatur <i>coolbox</i>	34
Gambar 4.1	Kontur distribusi temperatur hasil simulasi pada penelitian ini yang akan dibandingkan oleh eksperimen sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018)	37
Gambar 4.2	Grafik hasil validasi penelitian ini dengan penelitian sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018).....	38
Gambar 4.3	Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 242 <i>couple</i> pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm	39
Gambar 4.4	Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 200 <i>couple</i> pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm	40
Gambar 4.5	Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 162 <i>couple</i> pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm	40
Gambar 4.6	Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 128 <i>couple</i> pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm	41
Gambar 4.7	Distribusi temperatur sepanjang sumbu x dan z pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,8 (b) 0,65 (c) 0,5	42
Gambar 4.8	Distribusi temperatur sepanjang sumbu x dan z pada variasi banyaknya <i>couple</i> pada (a) 128 <i>couple</i> (b) 162 <i>couple</i> (c) 200 <i>couple</i> (d) 242 <i>couple</i>	44
Gambar 4.9	Perbandingan antara daya listrik terhadap C.O.P termoelektrik berdasarkan variasi ketinggian p-n semikonduktor.....	46
Gambar 4.10	Perbandingan antara daya listrik terhadap C.O.P termoelektrik berdasarkan variasi jumlah <i>couple</i> p-n semikonduktor.....	47
Gambar 4.11	Kontur distribusi temperatur pada <i>heatsink</i> dengan variasi (a) 10 <i>fin</i> (b) 12 <i>fin</i> dan (c) 14 <i>fin</i> pada	

	termoelektrik dengan jumlah 242 <i>couple</i> dan ketinggian 0,5 mm.	48
Gambar 4.12	Grafik perubahan temperatur pada (a) <i>base heatsink</i> (sisi dingin termoelektrik) dan permukaan <i>heatsink</i> dan (b) perbedaan antara <i>base heatsink</i> dengan permukaan <i>heatsink</i> , akibat pengaruh variasi jumlah <i>fin heatsink</i>	49
Gambar 4.13	Simulasi sirkulasi distribusi udara dingin pada <i>medical coolbox</i> yang dilakukan dengan menggunakan metode transien, fungsi waktu	51
Gambar 4.14	Grafik perubahan temperatur permukaan <i>heatsink</i> akibat perubahan kecepatan udara yang mengalir dari permukaan <i>heatsink</i> menuju udara bebas di dalam <i>medical coolbox</i>	52
Gambar 4.15	Grafik temperatur pendinginan pada (a) udara bebas di dalam <i>medical coolbox</i> (b) dinding permukaan <i>medical coolbox</i>	53
Gambar 4.16	Grafik perbedaan temperatur antara permukaan <i>heatsink</i> dengan udara bebas di dalam dan di sekitar dinding.	54
Gambar 4.17	Grafik penurunan temperatur pada produk insulin	55
Gambar 4.18	Grafik pengaruh variasi geometri terhadap distribusi temperatur sisi dingin termoelektrik <i>cooler</i>	56
Gambar 4.19	Grafik pengaruh variasi geometri terhadap performansi termoelektrik berupa C.O.P	57
Gambar 4.20	Nilai C.O.P sistem akibat (a) perubahan kecepatan udara (b) jumlah <i>fin heatsink</i> yang dihasilkan pada proses pendinginan <i>medical coolbox</i>	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Konveksi	14
Tabel 2.2	Nilai Properties pada Udara Kering pada 1 atm (Kothandarman, C.P., 2006).....	14
Tabel 3.1	Ukuran Tiap Elemen pada Termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018)	21
Tabel 3.2	Sifat-Sifat Material Penyusun Termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018)	21
Tabel 3.3	Sifat-Sifat Penyusun Material <i>Medical Coolbox</i> (Rajangan, V., 2015).....	23
Tabel 3.4	Sifat-Sifat Penyusun Material <i>Medical Coolbox</i> (BMKG Bandung, 2011-2015).....	24
Tabel 3.5	Variasi Geometri Sistem Pendingin Termoelektrik	26
Tabel 3.6	Pengaruh Variasi Geometri Jumlah <i>Couple</i>	26
Tabel 3.7	Jumlah Elemen <i>Meshing</i> Simulasi Termoelektrik	28
Tabel 3.8	Jumlah Elemen <i>Mesh</i> pada Simulasi Termoelektrik dan <i>Heatsink</i>	30
Tabel 3.9	Kondisi Batas Simulasi Termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018) untuk Validasi	31
Tabel 3.10	Kondisi Batas Simulasi Termoelektrik pada Variasi Geometri Ketinggian dan Jumlah <i>Couple</i> p-n Semikonduktor	31
Tabel 3.11	Kondisi Batas Simulasi Perpindahan Kalor pada <i>Heatsink</i> dan <i>Medical Coolbox</i>	32
Tabel 4.1	Perbandingan Nilai Variabel Keluaran Hasil Simulasi pada Penelitian Ini dengan Penelitian Sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018)	38
Tabel 4.2	Hasil Simulasi Termoelektrik dengan Variasi Ketinggian p-n Semikonduktor dari Segi Tegangan Listrik dan Daya Listrik yang Dibutuhkan.....	45
Tabel 4.3	Hasil Simulasi Termoelektrik dengan Variasi Banyaknya <i>Couple</i> p-n Semikonduktor dari Segi Tegangan Listrik dan Daya Listrik yang Dibutuhkan	46

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR SIMBOL

ΔV	Beda Potensial (volt)
T_h	Temperatur Sisi Panas (K)
T_c	Temperatur Sisi Dingin (K)
α	Koefisien Seebeck (volt/K)
\dot{Q}_s	Laju Perpindahan Panas Karena Efek Thomson (watt)
I	Arus Listrik (A)
R	Resistansi Elektris (Ω)
τ'	Koefisien Thomson (volt/K)
\dot{Q}_{cond}	Laju Perpindahan Panas secara Konduksi (watt)
\dot{Q}_J	Panas Joule (watt)
Q_h	Panas yang Dilepas (watt)
Q_c	Panas yang Diserap (watt)
P	Daya Input Listrik (watt)
K_t	Konduktivitas Termal (W/K)
N	Banyaknya <i>couple</i> p-n Semikonduktor
N_c	Banyaknya Lapisan Tembaga
\dot{Q}_{pn}	Laju Perpindahan Panas karena Efek Peltier (watt)
α_p	Koefisien Seebeck Tipe p (volt/K)
α_n	Koefisien Seebeck Tipe n (volt/K)
V	Tegangan Listrik (Volt)
h	Koefisien Konveksi (watt/m ² K)
L	Ketinggian Semikonduktor (m)
A	Luas Permukaan Semikonduktor (m ²)
A_c	Luas Permukaan Lapisan Tembaga (m ²)
ρ_p	Resistivitas Tipe p (Ω m)
ρ_n	Resistivitas Tipe n (Ω m)
ρ_c	Resistivitas <i>Copper</i> (Ω m)
π_p	Koefisien Peltier Pin Tipe-p (watt/A)
π_n	Koefisien Peltier Pin Tipe-n (watt/A)
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
W	Energi Listrik (Joule)
t	Selang Waktu (sekon)

k	Koefisien Konduksi (W/m°C)
ΔT	Beda Temperatur (°C)
Δx	Panjang atau Ketebalan Bahan (m)
R_t	Tahanan Termal (°C/W)
T_s	Temperatur Permukaan (°C)
T_f	Temperatur Fluida (°C)
Re	Bilangan Reynold
u	Kecepatan Fluida (m/s)
ν	Viskositas Kinematik (m ² /s)
Pr	Bilangan Prandtl
U	Koefisien Perpindahan Kalor Dinding (W/m ² K)
f_o	Koefisien Konveksi pada Dinding Luar (W/m ² K)
f_i	Koefisien Konveksi pada Dinding Dalam (W/m ² K)
x_d	Ketebalan Dinding (m)
Q_p	Beban Produk (watt)
Q_w	Beban Wadah (watt)
m	Massa Beban (kg)
c	<i>Specific Heat Capacity</i> (kJ/kg K)
Q_t	Beban Total (watt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Iklim merupakan keadaan cuaca rata-rata dalam waktu satu tahun dan meliputi wilayah yang luas. Faktor pembentuk iklim di negara Indonesia, salah satunya adalah letak astronomis yang berada di antara 6°LU – 11°LS dan 95°BT – 141°BT (Sungkawa, Dadang, 2018). Hal inilah yang menyebabkan Indonesia merupakan salah satu negara tropis terbesar di dunia (Apriliani, Putri Fitria, 2005). Karakteristik pada negara yang beriklim tropis adalah temperatur rata-rata harian yang lebih tinggi daripada negara yang memiliki iklim selain tropis sebesar 20°C, sedangkan rata-rata temperatur di wilayah Indonesia umumnya dapat mencapai 35°C dengan tingkat kelembaban yang tinggi sebesar 85% (Talarosha, Basaria, 2005). Akibatnya, fenomena yang terjadi berupa pemanasan yang ditimbulkan dari radiasi matahari, terjadinya *heat urban island*, berkurangnya kecepatan angin dan vegetasi alami (Karyono, Tri Harso, 2001). Dengan adanya fenomena – fenomena tersebut, mengakibatkan munculnya penyakit yang dalam bahasa kedokteran disebut Penyakit Infeksi Tropis. Penyakit ini dapat menjangkit ke satu orang dengan orang lain dengan berbagai cara, berupa kontak langsung, melalui peralatan yang digunakan secara bersama bahkan bahan makanan dan minuman itu sendiri dapat terkontaminasi kuman penyebab (Satyareni, Diema Herynka, 2011). Agar terbebas dari kuman penyakit dalam makanan dan minuman, maka dibutuhkan metode penyimpanan khusus untuk dapat melakukan proses pengawetan makanan dan minuman. Metode tersebut merupakan salah satu bentuk aplikasi dari *household appliances* berupa peralatan rumah tangga yang mempermudah kegiatan manusia sehari-hari (He, Rong Rong, 2017).

Bentuk aplikasi dalam proses pengawetan dan penyimpanan makanan dan minuman berupa perlakuan secara fisik, kimia maupun kombinasi keduanya (Selviana, Windy, 2017). Pada

perlakuan fisik, salah satu contohnya dapat dijumpai pada proses pendinginan (refrigerasi). Sistem refrigerasi yang umum digunakan sekarang ini adalah sistem refrigerasi kompresi uap dengan menggunakan zat refrigeran atau freon (yang disebut pula CFC, *Chloro Fluoro Carbon*). Akan tetapi, zat refrigeran yang digunakan saat ini sudah tidak ramah lingkungan dan berbiaya sangat mahal (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014). Selain itu, penggunaan refrigeran mengandung dampak negatif berupa lapisan ozon yang berlubang dan sudah diatur dalam *Montreal Protocol* tahun 1987 (Murti, Parstowo, 2018).

Sistem refrigerasi kompresi uap secara umum memiliki bentuk dan ukuran yang cukup besar. Kebutuhan masyarakat yang *mobile* menginginkan proses pendinginan yang praktis dan mudah dibawa kemana-mana (Mainil, Rahmat Iman, 2015). Oleh karena itu, solusi yang dapat mengatasi hal-hal tersebut, salah satunya dengan memanfaatkan termoelektrik sebagai sistem refrigerasi yang dapat mengubah secara langsung dari energi listrik menjadi energi kalor dan berlaku untuk proses sebaliknya. Dengan kata lain bahwa dengan adanya tegangan, termoelektrik dapat memberikan perbedaan temperatur pada tiap sisi dan dapat memompa kalor dari satu sisi ke sisi lainnya yang bergantung pada arus listrik yang mengalir pada suatu termoelektrik (Gunawan, Dian, 2017). Sudah banyak penelitian yang telah memberikan gambaran mengenai sistem pendinginan menggunakan termoelektrik, diantaranya penelitian oleh Andreas Hermawan S dan Andreas Wahyu Jatmiko pada tahun 2014 yang memberikan pandangan mengenai eksperimental dari pengaruh variasi jumlah modul termoelektrik yang dipasang secara paralel dan beban dalam wadah terhadap temperatur beban, daya listrik yang terpakai, C.O.P dan perbedaan suhu tiap sisi. Lebih lanjut dikembangkan oleh Erlanda Kurnia yang secara eksperimental mampu mendinginkan vaksin secara portabel hingga mencapai suhu 6°C pada rangkaian seri. Pengembangannya lebih lanjut dilakukan oleh Mangsur yang secara eksperimental juga mengembangkan *coolbox* yang berbentuk silinder dilakukan pendinginan dengan menggunakan

termoelektrik untuk kendaraan bermotor yang sumber arus listriknya berasal dari aki motor.

Penelitian termoelektrik makin berkembang dengan adanya teknologi yang dapat mensimulasikan proses termodinamika pada termoelektrik, seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh (Fauziyah, Nilna, 2018), (Rajangan, V., 2015) dan (Mani, Pooja Iyer, 2016) yang memiliki fokus penelitian pada performansi termoelektrik dengan variasi geometri di dalam termoelektrik. Berdasarkan latar belakang dan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian kali ini akan memfokuskan bentuk aplikatif dari sistem termoelektrik untuk mendinginkan beban pada *medical coolbox* yang efisien dari segi geometri termoelektrik (ketinggian p-n semikonduktor, banyaknya *couple* p-n semikonduktor di dalam module termoelektrik, jumlah *fin heatsink* dan kecepatan udara di dalam *coolbox*). Sehingga didapatkan proses distribusi temperature, C.O.P (*Coefficient of Performance*) dan *chilling time* yang dapat mendinginkan *medical coolbox* yang efektif dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana efek ketinggian dan banyaknya *couple* p-n semi konduktor termoelektrik terhadap distribusi temperatur sisi dingin, daya listrik yang dibutuhkan dan C.O.P (*Coefficient of Performance*) yang dihasilkan?
- b. Bagaimana efek dari jumlah *fin heatsink* dan kecepatan udara di dalam *medical coolbox* yang dibutuhkan terhadap distribusi temperatur pendinginan, *chilling time* dan efisiensi sistem yang dihasilkan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis efek ketinggian dan banyaknya *couple* p-n semi konduktor termoelektrik terhadap distribusi temperatur sisi

dingin, daya listrik yang dibutuhkan dan C.O.P (*Coefficient of Performance*) yang dihasilkan.

- b. Menganalisis efek dari jumlah *fin* *hetasink* dan kecepatan udara di dalam *medical coolbox* yang dibutuhkan terhadap distribusi temperatur pendinginan, *chilling time* dan efisiensi sistem yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

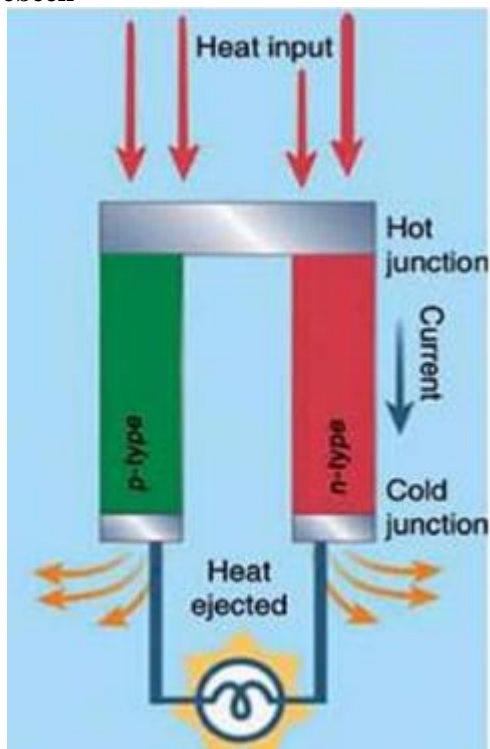
- a. Variabel termodinamika yang dianalisis pada penelitian ini adalah temperatur.
- b. Ukuran, material penyusun termoelektrik *ccoler* dan kondisi batas yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nilna Fauziah (2018).
- c. Simulasi untuk mengetahui distribusi temperatur, daya listrik yang dibutuhkan dan *chilling time* menggunakan *software* CFD yang terkait dalam proses simulasi *medical coolbox* berbasis termoelektrik.
- d. Proses simulasi pada termoelektrik dilakukan pada kondisi *steady* dan dalam proses pendinginan di dalam *coolbox* dilakukan pada kondisi *transient*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Termoelektrik

Termoelektrik pendingin (*thermoelectric cooler*) adalah alat pendingin yang menggunakan elemen peltier dalam sistemnya sebagai pompa kalor. Efek Peltier timbul apabila terdapat dua buah logam yang berbeda, selain itu akan ada fenomena lain yang akan terjadi pada dua buah logam tersebut yaitu efek Joule, efek Seebeck dan efek Thomson (Mangsur, 2010).

2.1.1 Efek Seebeck

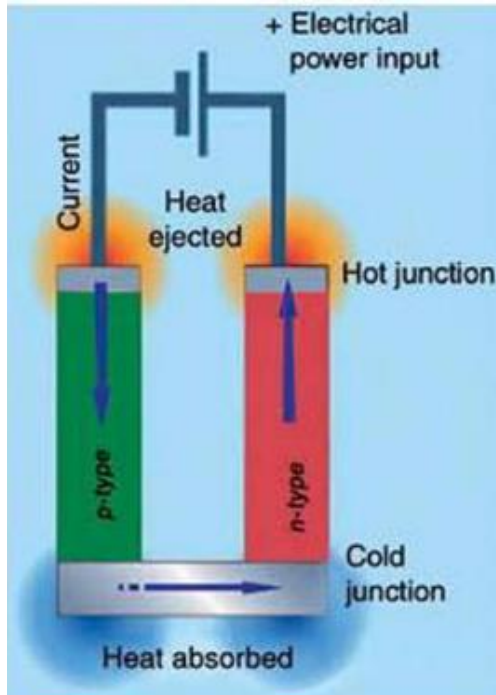


Gambar 2.1 Fenomena efek Seebeck pada termoelektrik semikonduktor (Zervos, Dr. Harry, 2012)

Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck. Ketika dua logam yang terdiri dari material berbeda yang dihubungkan oleh dua sisi yang memiliki perbedaan temperatur maka akan terjadi perbedaan tegangan potensial antara dua logam yang disebut tegangan Seebeck. Tegangan Seebeck tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta V = \int_{T_c}^{T_h} \alpha \, dT \quad (2.1)$$

2.1.2 Efek Peltier



Gambar 2.2 Fenomena efek Peltier pada termoelektrik semikonduktor (Zervos, Dr. Harry, 2012)

Selanjutnya, Jean Charles Peltier pada tahun 1934 mencoba mengamati keadaan secara sebaliknya. Peltier mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam dan pelepasan panas pada sambungan logam lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini searah dengan aliran arus listrik. Koefisien Peltier merupakan energi panas yang dibawa oleh setiap elektron per unit muatan dan waktu dari sisi panas ke sisi dingin.

$$\dot{Q}_{pn} = (\pi_p - \pi_n)I \quad (2.2)$$

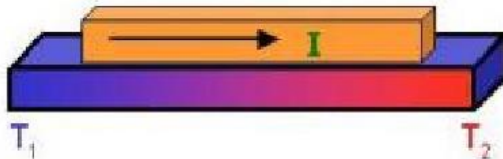
2.1.3 Efek Thomson

Kemudian Sir William Thomson menjelaskan bahwa proses pelepasan dan penyerapan kalor secara bolak-balik dalam batang homogen berlangsung secara kontinu dikarenakan adanya beda potensial. Gradien potensial ini bergantung dari perubahan beda potensial per perubahan temperaturnya (Ramdhiani, Febri, 2015). Perpindahan panas yang terjadi akibat efek Thomson ditulis matematis pada persamaan berikut.

$$\dot{Q}_s = I^2R - I\tau' \Delta T \quad (2.3)$$

dimana

$$\tau' = -T \frac{d\alpha}{dT} \quad (2.4)$$



Gambar 2.3 Efek Thomson (Mani, Pooja Iyer, 2016)

2.1.4 Efek Joule

Arus listrik yang mengalir sepanjang beban menghasilkan panas . Panas yang digenerasikan tersebut terjadi karena adanya efek Joule sehingga disebut dengan panas Joule. Panas Joule ditulis secara matematis pada Persamaan (2.5)

$$\dot{Q}_J = I^2 R \quad (2.5)$$

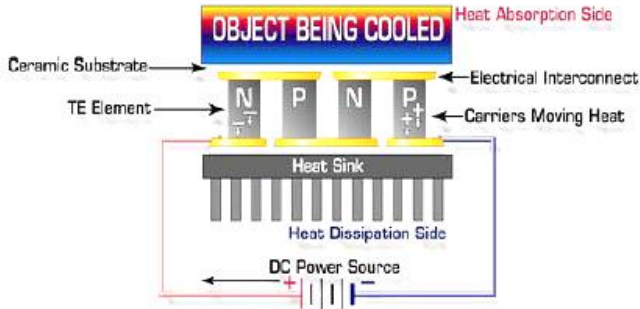
2.2 Prinsip Kerja Termoelektrik

Prinsip kerja termoelectric *cooler* (TEC) berdasarkan efek Peltier, yaitu ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe n (semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi) akan mengakibatkan salah satu sisi elemen menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan). Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalirnya elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe p ke tingkat energi yang tinggi yaitu semikonduktor tipe n. Supaya elektron tipe p yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin. Sedangkan pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sambungan sisi panas, dimana elektron mengalir dari tingkat energi lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah (Setyadi, Andrea Hermawan, 2014).

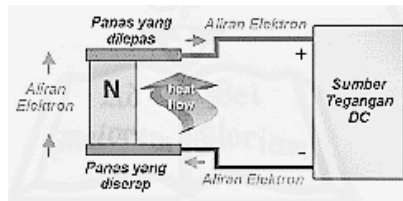
Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 pada efek Peltier, penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin kemudian dibuang pada sisi panas dari modul peltier. Dengan demikian nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan ke modul (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014).

$$Q_h = Q_c + P \quad (2.6)$$

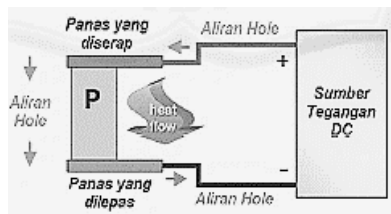
Pada Gambar 2.4, elektron mengalir dari semikonduktor pada tipe p yang kekurangan energi, menyerap kalor pada bagian yang didinginkan kemudian mengalir ke semikonduktor tipe n. Semikonduktor tipe n yang kelebihan energi membuang energi tersebut ke lingkungan kemudian ke semikonduktor tipe p dan seterusnya (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.4 Arah aliran (a) elektron pada modul termoelektrik (b) kalor untuk tipe n dari efek Peltier dan (c) kalor untuk jenis p dari efek Peltier (Mangsur, 2010)

Penerapan termoelektrik yang tepat, bergantung pada tiga parameter. Parameter-parameter yang dimaksud adalah temperatur permukaan panas (T_h), temperatur permukaan dingin (T_c) dan *heat load* yang diserap oleh permukaan dingin (Q_c). Selain itu, sisi panas termoelektrik merupakan sisi terjadinya pelepasan kalor ketika arus DC dialirkan (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014).

$$Q_h = \alpha \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R - K_t(T_h - T_c) \quad (2.7)$$

$$Q_c = \alpha \cdot I \cdot T_c - \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R - K_t(T_h - T_c) \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk mencari nilai koefisien Seebeck, konduktivitas termal termolektrik dan COP (*Coefficient of Performance*) pada sebuah termoelektrik dapat menggunakan persamaan berikut (Huang, B.J. et al, 2000)

$$\alpha = N (|\alpha_p| + |\alpha_n|) \quad (2.9)$$

$$K_t = V \cdot I \cdot \frac{T_c}{2 \cdot T_h \cdot \Delta T} \quad (2.10)$$

$$R = N(\rho_n + \rho_p) \frac{L}{A} + N_c \frac{\rho_c}{A_c} \quad (2.11)$$

$$V = \alpha(T_h - T_c) + IR \quad (2.12)$$

$$P = \alpha I(T_h - T_c) + I^2 R \quad (2.13)$$

$$COP = \frac{Q_c}{P} \quad (2.14)$$

Nilai daya listrik (P) yang dibutuhkan dapat ditentukan setelah mendapatkan nilai dari energi listrik (W) yang diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W = V \cdot I \cdot t \quad (2.15)$$

$$P = \frac{W}{t} = V I \quad (2.16)$$

2.3 Perhitungan Beban Pendinginan

Dalam rancang bangun sistem refrigerasi (pendinginan) perlu dilakukan perhitungan beban pendinginan yang harus ditangani untuk menentukan kapasitas peralatan sistem pendinginan yang dibutuhkan.

2.3.1 Beban Kalor Melalui Dinding

Beban kalor melalui dinding adalah banyaknya kalor yang masuk ke ruangan atau objek pendinginan, melalui dinding, karena adanya perbedaan temperatur antara lingkungan dengan ruangan atau objek pendinginan. Kalor yang masuk melalui dinding dihitung dengan Persamaan (2.17).

$$Q_d = U A \Delta T \quad (2.17)$$

Penentuan nilai U (koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh) dapat ditentukan tergantung pada,

- a. Ketebalan bahan dinding
- b. Jenis bahan
- c. Kondisi permukaan (kecepatan udara).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{f_o} + \frac{xd}{kd} + \frac{1}{f_i} \quad (2.18)$$

2.3.2 Beban Produk

Beban produk yang dihasilkan dapat dikategorikan dalam 4 bentuk, yakni :

- a. Beban penurunan temperatur produk
- b. Beban laten (pembekuan atau kondensasi)
- c. Beban respirasi (untuk buah-buahan dan sayuran)
- d. Beban wadah

Pada penelitian ini, hanya dibutuhkan 2 bentuk beban yakni beban penurunan temperatur dan beban wadah. Pada beban penurunan temperatur produk dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.19).

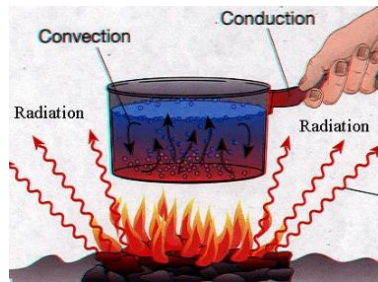
$$Q_p = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t} \quad (2.19)$$

Wadah bila memiliki massa yang cukup besar dapat menghasilkan beban bagi ruangan atau objek yang akan didinginkan. Beban wadah dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.20).

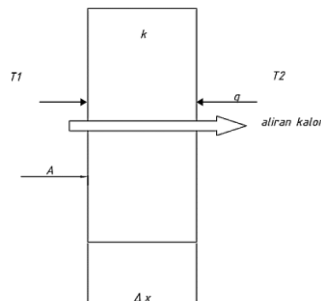
$$Q_w = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t} \quad (2.20)$$

2.4 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor adalah proses perpindahan energi kalor dari benda yang memiliki suhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Adanya perbedaan suhu, energi kalor dapat mengalir baik pada benda padat maupun fluida. Perpindahan kalor dibagi menjadi tiga jenis, yaitu perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi seperti diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Perpindahan kalor secara keseluruhan (Kresnoadi, 2017)



Gambar 2.6 Skema perpindahan kalor konduksi (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014)

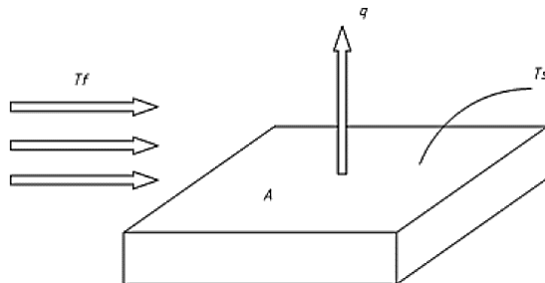
Perpindahan kalor konduksi adalah proses terjadinya perpindahan kalor dari suatu benda ke benda yang lain yang biasanya terjadi pada benda padat dengan cara perambatan kalor. Hal inilah yang disebut sebagai efek Fourier. Pada fluida, yaitu benda cair dan gas juga dapat terjadi perpindahan kalor secara konduksi dengan syarat fluida dalam keadaan diam. Laju perpindahan kalor secara konduksi dapat dihitung dengan Persamaan (2.21) dan (2.22).

$$Q = k \cdot A \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right) = \left(\frac{\Delta T}{R_t} \right) \quad (2.21)$$

$$R_t = \left(\frac{\Delta x}{kA} \right) \quad (2.22)$$

2.5 Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi tidak dapat terjadi pada benda padat, karena proses perpindahan kalor secara konveksi hanya terjadi pada fluida baik zat cair maupun gas yang disertai dengan perpindahan zat perantaranya. Perpindahan kalor konveksi dapat dihitung dengan Persamaan (2.23). Untuk beberapa kasus tertentu, nilai koefisien konveksi disajikan pada Tabel 2.1.



Gambar 2.7 Skema perpindahan kalor konveksi (Jatmiko, Andreas Wahyu, 2014)

$$Q = h A_s (T_s - T_f) \quad (2.23)$$

Tabel 2.1 Koefisien Konveksi

Proses	Nilai koefisien konveksi (W/m ² K)
Konveksi bebas, udara	2-25
Konveksi bebas, air	10-1000
Konveksi paksa, udara	25-250
Konveksi paksa, air	50-20000
Air mendidih	2500-100000

Tabel 2.2 Nilai Properties pada Udara Kering pada 1 atm
(Kothandarman, C.P., 2006)

Temp- erature <i>t</i> °C	Density <i>ρ</i> kg/m ³	Coefficient of Viscosity <i>μ</i> × 10 ⁶ Ns/m ² s	Kinematic Viscosity <i>ν</i> × 10 ⁶ m ² /s	Thermal Diffusivity <i>α</i> × 10 ⁶ m ² /s	Prandtl Number <i>Pr</i>	Specific Heat <i>c</i> J/kgK	Thermal Conduc- tivity <i>k</i> W/mK
-50	1.584	14.61	9.23	12.644	0.728	1013	0.02035
-40	1.515	15.20	10.04	13.778	0.728	1013	0.02117
-30	1.453	15.69	10.80	14.917	0.723	1013	0.02198
-20	1.395	16.18	11.61	16.194	0.716	1009	0.02279
-10	1.342	16.67	12.43	17.444	0.712	1009	0.02361
0	1.293	17.16	13.28	18.806	0.707	1005	0.02442
10	1.247	17.65	14.16	20.006	0.705	1005	0.02512
20	1.205	18.14	15.06	21.417	0.703	1005	0.02593
30	1.165	18.63	16.00	22.861	0.701	1005	0.02675
40	1.128	19.12	16.96	24.306	0.699	1005	0.02756
50	1.093	19.61	17.95	25.722	0.698	1005	0.02826
60	1.060	20.10	18.97	27.194	0.696	1005	0.02966
70	1.029	20.59	20.02	28.556	0.694	1009	0.03047
80	1.000	21.08	21.09	30.194	0.692	1009	0.03074
90	0.972	21.48	22.10	31.889	0.690	1009	0.03128
100	0.946	21.87	23.13	33.639	0.688	1009	0.03210
120	0.898	22.85	25.45	36.833	0.686	1009	0.03338
140	0.854	23.73	27.80	40.333	0.684	1013	0.03489
160	0.815	24.52	30.09	43.894	0.682	1017	0.03640
180	0.779	25.30	32.49	47.500	0.681	1022	0.03780
200	0.746	25.99	34.85	51.361	0.680	1026	0.03931
250	0.674	27.36	40.61	58.500	0.677	1038	0.04268
300	0.615	29.71	48.20	71.556	0.674	1047	0.04605

Secara spesifik, koefisien konveksi dipengaruhi oleh bilangan Reynold, Prandtl dan kecepatan udara. Hubungan parameter-parameter tersebut dapat dijelaskan pada Persamaan (2.24) dan (2.25).

$$Re = \frac{(u \times L)}{v} \quad (2.24)$$

$$h = 0.664 x \frac{k}{L} Re^{0,5} Pr^{0,333} \quad (2.25)$$

Nilai-nilai k , μ dan Pr diperoleh berdasarkan temperatur *film* yang merupakan rata-rata temperatur pelat dan temperatur udara. Setelah itu, dapat dicari dengan menggunakan Tabel 2.2.

2.6 Termodinamika Sistem Pendinginan Termoelektrik

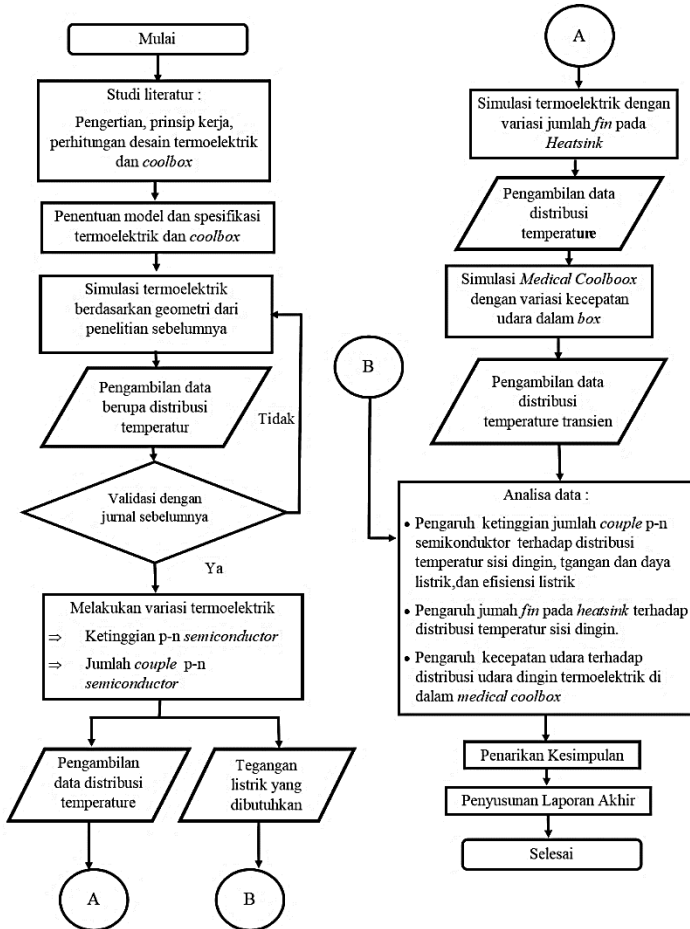
Perpindahan kalor secara konveksi dapat terlihat pada proses pendinginan termoelektrik. Dikatakan sebelumnya, bahwa perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir (bergerak) atau sebaliknya, diantara keduanya terdapat perbedaan temperatur. Pergerakan fluida ditimbulkan oleh adanya *bouyancy* dari perubahan densitas fluida akibat perbedaan temperatur yang disebut konveksi bebas. Contohnya pada kasus pendinginan *coolbox* yang disebabkan oleh termoelektrik dengan menggunakan bantuan *heatsink* sebagai proses perpindahan kalornya. Sedangkan pergerakan fluida akibat gaya dari luar seperti tiupan atau hisapan dari pompa, *fan*, kompresor dan lainnya disebut dengan konveksi paksa. Hal ini dapat dilihat pada kasus proses pendinginan *coolbox* yang disebabkan oleh termoelektrik yang tidak hanya menggunakan *heatsink* saja, akan tetapi dibantu juga oleh *fan* pada sistem tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

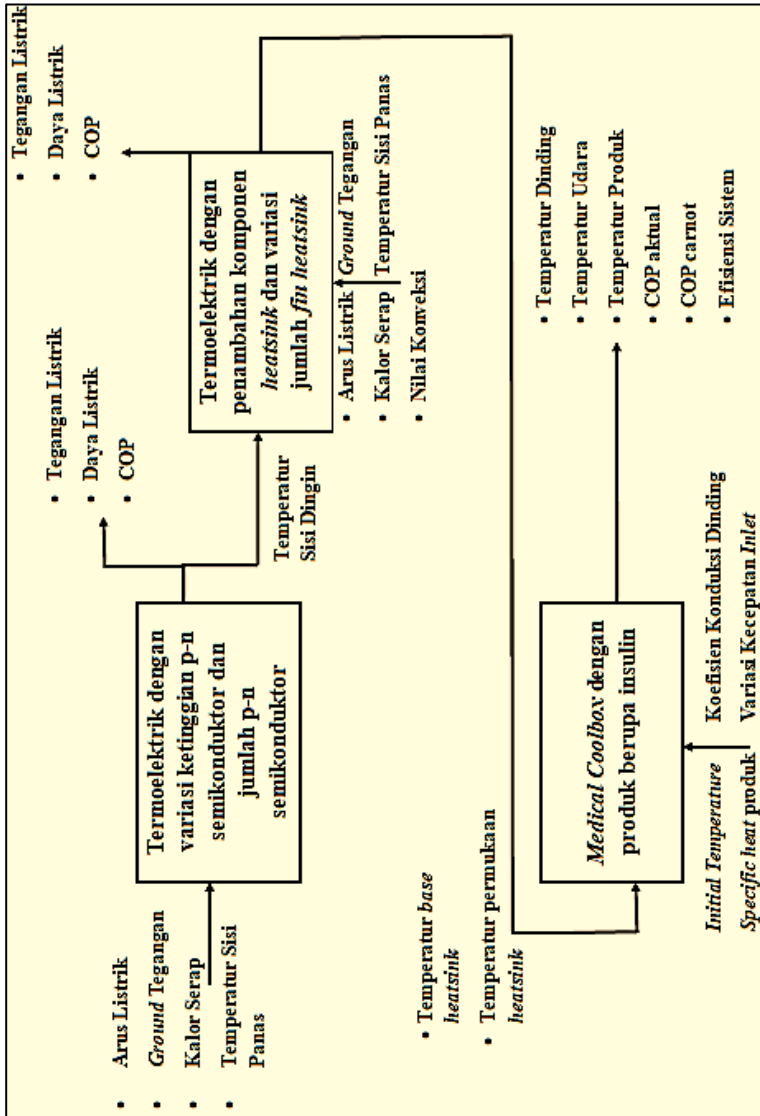
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



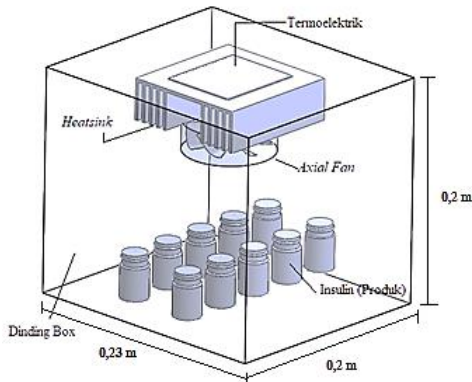
Gambar 3.2 Diagram blok simulasi *medical coolbox* berbasis termoelektrik

Pada tahap awal penelitian ini, dilakukan penentuan geometri, susunan material dan perhitungan beban kalor dalam *medical coolbox* yang didapatkan dari studi literatur dan jurnal penelitian sebelumnya. Selanjutnya dilakukan proses simulasi *computational fluid dynamics* yang dibagi menjadi 3 tahapan sesuai dengan Gambar 3.2. Hal ini dilakukan bertujuan untuk melakukan analisis lebih mendalam terhadap parameter variasi-variasi yang telah ditentukan sebelumnya yakni parameter variasi ketinggian p-n semikonduktor, jumlah *couple* p-n semikonduktor, jumlah *fin* pada *heatsink* dan kecepatan udara dalam *medical coolbox*. Tahapan pertama yang dilakukan adalah melakukan simulasi pada termoelektrik, yakni dengan melakukan validasi terhadap jurnal penelitian sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018). Tahap validasi dilakukan dengan 3 proses yakni *pre-processing*, *solution* dan *post-processing*. *Pre-processing* dilakukan dengan memasukkan susunan material pada *engineering data*, *meshing* dan memasukkan kondisi batas. Selanjutnya tahap *solution* dilakukan proses iterasi dan hasilnya dapat dilihat pada tahap *post-processing*. Setelah dilakukan validasi, dilanjutkan dengan melakukan variasi termoelektrik, yakni ketinggian p-n semikonduktor dan jumlah *couple p-n semikonduktor*. Selanjutnya, dilakukan simulasi dengan menggunakan variasi geometri termoelektrik sebelumnya yang memberikan nilai temperatur sisi dingin dan nilai C.O.P terbaik dengan menambahkan *heatsink*, agar mengetahui dan menganalisis pengaruh penambahan *heatsink* terhadap perubahan distribusi temperatur sisi dingin dibandingkan tanpa menggunakan *heatsink*. Variasi yang digunakan adalah geometri jumlah *fin* pada *heatsink* dan variasi kecepatan udara yang mempengaruhi nilai konveksi pada *heatsink*. Sehingga hasil dari simulasi tersebut, didapatkan data temperatur sisi dingin yang dijadikan sebagai kondisi batas pada simulasi distribusi udara dingin pada *medical coolbox* dengan variasi kecepatan udara.

3.2 Penentuan Ukuran dan Bahan Penyusun dari Sistem Pendingin Termoelektrik dan *Medical Coolbox*

Desain *medical coolbox* berbasis termoelektrik ditentukan dengan studi literatur yang dilakukan pada tiga jurnal penelitian

yang digabung menjadi satu. Jurnal pertama dilakukan untuk menentukan geometri dan bahan penyusun termoelektrik yang berasal dari penelitian (Fauziyah, Nilna, 2018). Lalu geometri *medical coolbox*, *heatsink* dan bahan penyusunnya ditentukan dari jurnal (Harsono, Prasetyo, 2015), sedangkan produk insulin dan bahan penyusunnya berasal dari jurnal (Rajangan, V., 2015). Desain geometri sistem *medical coolbox* berbasis termoelektrik secara menyeluruh dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain geometri *medical coolbox* berbasis termoelektrik

3.2.1 Penentuan Ukuran dan Bahan Penyusun Termoelektrik

Desain termoelektrik yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018). Ukuran, desain dan bahan penyusun geometri selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.4, Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Sifat-sifat material tersebut merupakan sifat material pada suhu 0 derajat hingga 50 derajat Celcius. Selain itu, geometri *heatsink* pada termoelektrik digunakan desain sesuai dengan penelitian sebelumnya (Harsono, 2015). Bahan penyusun material *heatsink* adalah aluminium dengan sifat-sifat penyusun disesuaikan dengan data *engineering* yang ada di aplikasi simulasi. Bentuk dan dimensi *heatsink* dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Tabel 3.1 Ukuran Tiap Elemen pada Termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018)

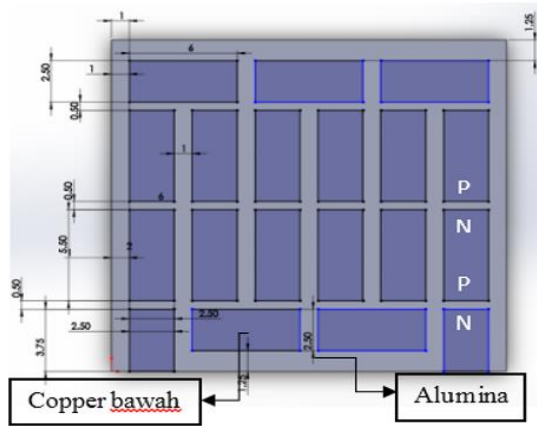
Variabel	Ukuran (mm)	Jumlah
Ukuran pin termoelektrik	2,5 x 2,5 x 1,5	18 pasang
Ukuran keramik	22 x 20 x 1	2 buah
Ukuran lapisan tembaga 1	3,75 x 2,5 x 0,3	2 buah
Ukuran lapisan tembaga 2	6 x 2,5 x 0,3	5 buah
Ukuran lapisan tembaga 3	5,5 x 2,5 x 0,3	30 buah
Ukuran lapisan timah 1	3,75 x 2,5 x 0,6	2 buah
Ukuran lapisan timah 2	6 x 2,5 x 0,3	5 buah
Ukuran lapisan timah 3	5,5 x 2,5 x 0,3	30 buah

Tabel 3.2 Sifat-Sifat Material Penyusun Termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018)

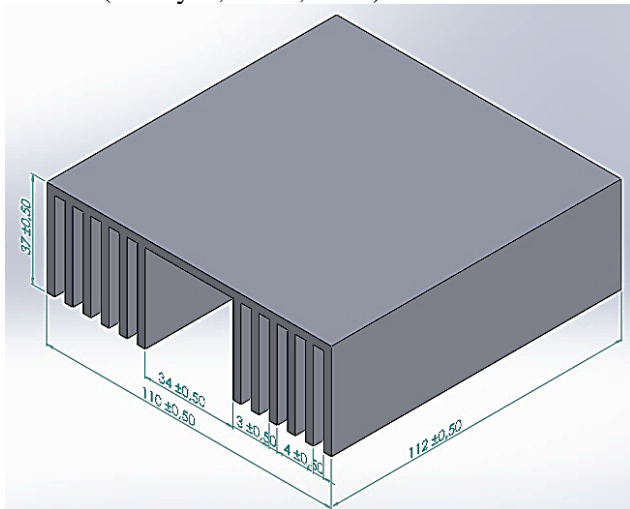
Material	Resistivitas Listrik (Ohm m)	Konduktivitas Termal (W/m K)	Koefisien Seebeck (V/K)
Semikonduktor tipe-p	0,0067	0,9	$2,2 \times 10^{-4}$
Semikonduktor tipe-n	0,0077	0,98	$-1,8 \times 10^{-4}$
Tembaga	$1,7 \times 10^{-8}$	400	-
Timah	$2,2 \times 10^{-7}$	34,7	-
Alumina	-	40	-



(a)



Gambar 3.4 (a) Bentuk desain termoelektrik (b) ukuran geometri termoelektrik pada penelitian sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018)



Gambar 3.5 Bentuk dan dimensi *heatsink* yang dipakai dalam simulasi (Harsono, Prasetyo, 2015)

3.2.2 Penentuan dan Perhitungan Beban Desain *Medical Coolbox*

Pada penelitian ini, beban pendinginan yang terjadi meliputi beban pendinginan dalam bentuk konduksi bertujuan untuk mengetahui kalor pada dinding kotak pendingin, sedangkan perhitungan beban pendinginan produk dan wadahnya bertujuan untuk mengetahui nilai kalor yang terjadi dari temperatur awal sampai temperatur kontrol.

a. Beban Kalor Konduksi Dinding

Pertama yang harus dilakukan dalam proses perhitungan adalah dengan menentukan desain geometri *medical coolbox*. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.3.

Tabel 3.3 Sifat-Sifat Penyusun Material *Medical Coolbox* (Rajangan, V., 2015)

Variabel	Symbol	Ukuran
<i>Specific gravity</i> pada insulin	S	1,004
Volume pada insulin	V_b	$10 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
Massa insulin	m	0,1004 kg
<i>Specific heat capacity</i> insulin	C_p	4,187 kJ/kg K
Massa jenis <i>glass</i>	ρ	2500 kg/m^3
Volume tiap botol $\pi/4 \times (2,5^2 - 2,1^2) \times 4$	V_b	$5,78 \text{ cm}^3$
<i>Specific heat capacity</i> botol	C_p	0,84 kJ/kg K
Dinding <i>box</i> (<i>polyurethane</i>)	$P \times l \times t$	0,23 x 0,2 x 0,2 m
Ketebalan dinding	X_d	15 mm (0,015 m)
Koefisien konduksi dinding	k	0,025 W/m K

Setelah itu, dilakukan perhitungan beban kalor pada *medical coolbox*. Perhitungan yang dilakukan pertama kali adalah menghitung beban kalor konduksi dinding. Terlebih dahulu

menghitung nilai koefisien perpindahan kalor dinding (U) berdasarkan Persamaan (2.18).

$$\begin{aligned}\frac{1}{U} &= \frac{1}{22,7} + \frac{0,015}{0,025} + \frac{1}{9,37} \\ \frac{1}{U} &= 0,044 + 0,6 + 0,107 \\ \frac{1}{U} &= 0,751 \\ U &= \frac{1}{0,751} = 1,33 \text{ W/m}^2\text{K}\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan luas permukaan box dengan perhitungannya sebagai berikut,

$$\begin{aligned}\text{Luas } A_1 &= \text{panjang} \times \text{lebar} = 0,23 \times 0,2 \text{ m} = 0,05 \text{ m}^2 \\ \text{Luas } A_2 &= \text{panjang} \times \text{tinggi} = 0,22 \times 0,2 \text{ m} = 0,05 \text{ m}^2 \\ \text{Luas } A_3 &= \text{lebar} \times \text{tinggi} = 0,2 \times 0,2 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2 \\ \text{Luas total } (A_{\text{total}}) &= 2 (A_1) + 2 (A_2) + 2 (A_3) \\ &= 2 (0,05) + 2 (0,05) + 2 (0,04) \\ &= 0,28 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Tabel 3.4 Sifat-Sifat Penyusun Material *Medical Coolbox* (BMKG Bandung, 2011-2015)

Variabel	Nilai
Temperatur luar maksimum (T_o max)	30 ⁰ C
Temperatur luar minimum (T_o min)	20 ⁰ C
<i>Daily Range</i>	(30 – 20) ⁰ C 10 ⁰ C
Temperatur luar rata-rata	(T_o max – (0,5 x <i>Daily Range</i>)) 25 ⁰ C
Kelembaban rata-rata	70%

Lalu menentukan kondisi luar ruangan dan luar *medical coolbox* yang ditentukan berdasarkan laporan BMKG pada tahun 2011 – 2015 yang diambil dari Kota Bandung, sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.4. Dengan menggunakan temperatur

kontrol yang diharapkan dalam *medical coolbox* adalah 15°C , sehingga didapatkan nilai beban kalor dinding (Q_d) sebesar,

$$Q_d = 1,33 \times 0,28 \times 10 = 3,724 \text{ Watt}$$

b. Beban Produk dan Wadah (Beban Internal)

Produk yang digunakan pada penelitian ini adalah insulin dengan massa secara keseluruhan sebesar 0,1004 kg (Rajangan, V., 2015) dengan nilai *specific heat capacity* sebesar 4,187 kJ/kg K dan estimasi perencanaan waktu pendinginan mencapai temperatur kontrol 15°C adalah sebesar 25 menit (1500 detik). Sehingga hasil beban kalor yang dihasilkan oleh produk dengan menggunakan Persamaan (2.19) adalah,

$$Q_p = \frac{0,1004 \times 4,187 \times 10}{1500}$$

$$Q_p = 0,002803 \text{ kW} = 2,802 \text{ Watt}$$

Wadah yang digunakan untuk produk insulin adalah menggunakan material *glass* dengan nilai *specific heat capacity* sebesar 0,84 kJ/kg K dan massa keseluruhan adalah 0,1445 kg, yang berasal dari perkalian antara massa jenis *glass* (2500 kg/m^3) dengan volume sebesar ($5,786 \times 10^{-6} \text{ m}^3$). Dengan menggunakan Persamaan (2.20), didapatkan nilai kalor untuk wadah sebesar,

$$Q_w = \frac{0,1445 \times 0,84 \times 10}{1500}$$

$$Q_w = 0,0008092 \text{ kW} = 0,8092 \text{ Watt}$$

Jadi total nilai beban kalor pada *medical coolbox* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.1) adalah,

$$Q_t = Q_d + Q_p + Q_w \quad (3.1)$$

$$Q_t = 3,724 + 2,802 + 0,8092 = 7,3552 \text{ W}$$

3.3 Penentuan Variasi Geometri Sistem Pendingin Termoelektrik

Variasi geometri yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.5. Pemilihan variasi geometri pada penelitian

ini berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa perubahan ketinggian p-n semikonduktor dapat mempengaruhi performansi sistem termoelektrik (Gong, Tingrui. et al, 2018). Perubahan bentuk *heatsink* (jumlah *fin*) dapat mempengaruhi proses pendinginan yakni penurunan temperatur di dalam box (Harsono, Prasetyo, 2015) dan perubahan kecepatan udara dingin di dalam *box* dapat mempengaruhi proses pendinginan yang semakin cepat.

Tabel 3.5 Variasi Geometri Sistem Pendingin Termoelektrik

Variabel	Variasi			
Tinggi p-n semikonduktor (mm)	0,5	0,65	0,8	-
Jumlah <i>couple</i> semikonduktor	128	162	200	242
Jumlah <i>fin heatsink</i>	5 fin	6 fin	7 fin	-
Kecepatan udara dingin (m/s)	0,25	0,5	0,75	1

Variasi jumlah *couple* p-n semikonduktor dilakukan untuk mengetahui perubahan performansi sistem termoelektrik yang dapat mengakibatkan terjadinya perbedaan temperatur di antara dua sisi. Pada parameter variasi jumlah *couple* p-n semikonduktor memberikan pengaruh kepada geometri lainnya yang ada di dalam termoelektrik, dari jumlah lapisan tembaga dan timah hingga dimensi keramik menjadi berubah. Tabel 3.6 menyajikan pengaruh tersebut.

Tabel 3.6 Pengaruh Variasi Geometri Jumlah *Couple*

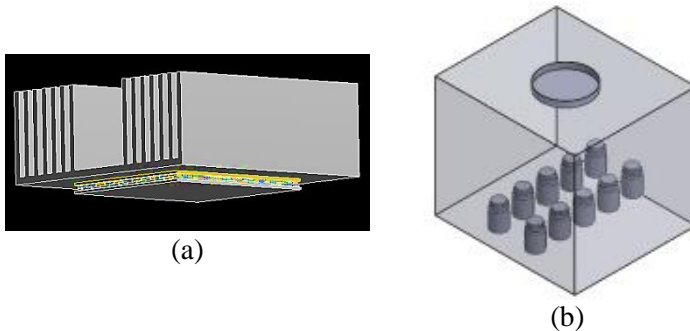
Jumlah <i>couple</i> p-n <i>type</i>	Jumlah satuan p-n <i>type</i>	Jumlah tembaga dan timah	Luasan area keramik
128 pasang	256	128	50 x 57 mm
162 pasang	324	162	56 x 64 mm
200 pasang	400	200	62 x 71 mm
242 pasang	484	242	68 x 78 mm

3.4 Proses Simulasi Sistem Pendinginan Termoelektrik

Baik simulasi termoelektrik tanpa menggunakan *heatsink* dan dengan menggunakan *heatsink* lalu dilanjutkan dengan simulasi *medical coolbox* memiliki tiga tahap proses simulasi, yakni *pre*

processing (memasukkan properti bahan penyusun pada *engineering data*, pembuatan geometri, *meshing* dan penentuan kondisi batas yang digunakan), *solution* dan *post processing*. Untuk lebih detailnya, dijelaskan pada Sub Bab 3.4.1- 3.4.3.

3.4.1 Pre Processing



Gambar 3.6 Geometri untuk (a) simulasi variasi *heatsink* dan (b) simulasi kecepatan udara dingin pada *medical coolbox*

Properti bahan penyusun setiap elemen termoelektrik cooler dimasukkan ke dalam *engineering data software thermal electric*. Properti material yang dipengaruhi oleh temperatur dapat dimasukkan menggunakan fungsi tabular pada *engineering data*, selanjutnya adalah tahap pembuatan geometri menggunakan *design modeller software* tersebut. Pembuatan geometri dilakukan dengan urutan susunan berupa lapisan keramik, lapisan tembaga, lapisan timah, pin termoelektrik, lapisan timah, lapisan tembaga dan lapisan keramik. Geometri awal dibuat terlebih dahulu dengan ukuran seperti yang dijelaskan pada Sub Bab 3.2.1. dan bagian variasi termoelektrik dibuat sesuai dengan Tabel 3.5 dan 3.6. Pada bagian simulasi variasi *heatsink* dibuat geometri *heatsink* sesuai dengan Gambar 3.5 dan digabung dengan termoelektrik sehingga desain termoelektrik dengan menggunakan *heatsink* sesuai dengan Gambar 3.6 (a). Pada simulasi variasi kecepatan udara dingin

pada *medical coolbox* dibuat geometri secara sederhana menjadi Gambar 3.6 (b).

3.4.2 Meshing

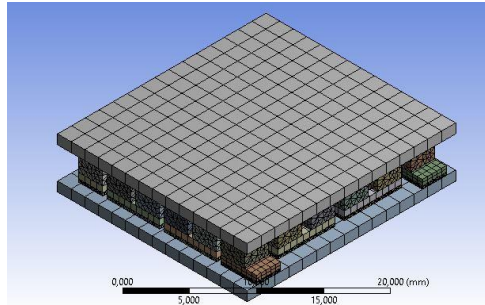
Proses *meshing* dilakukan dengan mengubah elemen yang berbeda-beda jumlahnya sehingga didapatkan hasil simulasi yang diharapkan sesuai dengan kondisi sesungguhnya. Pembuatan *mesh* pada simulasi termodinamika pada *software thermal electric* menggunakan *metode adaptive* dengan ukuran *mesh coarse* ditambah *patch independent* pada struktur tembaga sebesar 0,25 mm dan *patch conforming* pada struktur p-n semikonduktor 0,5 mm.

Tabel 3.7 Jumlah Elemen *Meshing* Simulasi Termoelektrik

Variasi Jumlah <i>Couple</i>	Variasi Ketinggian p-n semikonduktor	Jumlah Elemen <i>Mesh</i>
128 <i>couple</i>	0,5	471713
	0,65	481725
	0,8	491725
162 <i>couple</i>	0,5	595430
	0,65	611372
	0,8	621029
200 <i>couple</i>	0,5	734449
	0,65	754512
	0,8	765644
242 <i>couple</i>	0,5	887008
	0,65	911550
	0,8	925390

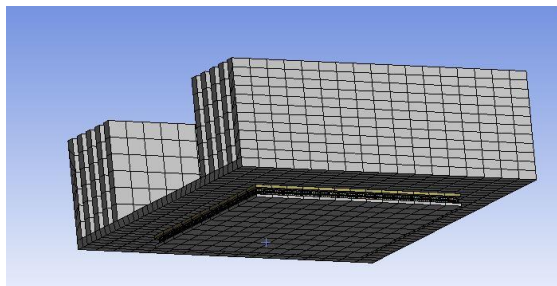
Pada tahap validasi dilakukan *mesh* dengan hasil jumlah elemen sebanyak 84598 dengan node sebanyak 164780 dan untuk mengukur tingkat kualitas *mesh* didapatkan dari parameter *skewness* yakni sebesar 0,87851. Jumlah elemen pada proses *meshing* setiap variasi geometri pada simulasi termoelektrik

dapat dilihat pada Tabel 3.7 sedangkan tampilan hasil *meshing* geometri termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 3.7.



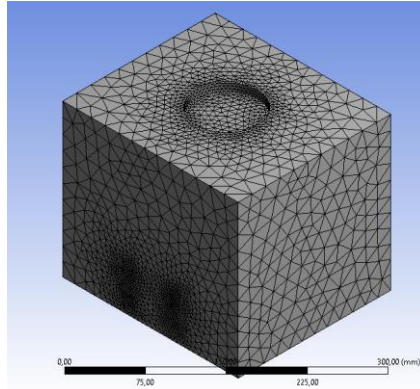
Gambar 3.7 Hasil *meshing* pada simulasi termoelektrik

Setelah itu, dilakukan *meshing* pada simulasi *medical coolbox* dengan memisahkan *heatsink* dan *box* yang akan disimulasikan. Pada simulasi *heatsink* dilakukan *mesh* dengan metode *adaptive* dengan ukuran *mesh coarse*. Sehingga didapatkan jumlah elemen tiap variasi *heatsink* ditunjukkan pada Gambar 3.8 dan Tabel 3.8.



Gambar 3.8 Hasil *meshing* pada simulasi *heatsink* yang digabung dengan termoelektrik pada salah satu aplikasi CFD.

Selain itu, pada simulasi *medical coolbox* dilakukan pula proses *meshing* dengan menggunakan metode *proximity and curvature* dan ukuran *coarse* sehingga didapatkan jumlah elemen *mesh* sebanyak 4208512 yang didapatkan sesuai dengan Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Hasil *meshing* pada simulasi *medical coolbox*

Tabel 3.8 Jumlah Elemen *Mesh* pada Simulasi Termoelektrik dan *Heatsink*

Variasi <i>Heatsink</i>	Jumlah Elemen <i>Mesh</i>
10 <i>fin</i>	888638
12 <i>fin</i>	892896
14 <i>fin</i>	893053

3.4.3 Penentuan Kondisi Batas

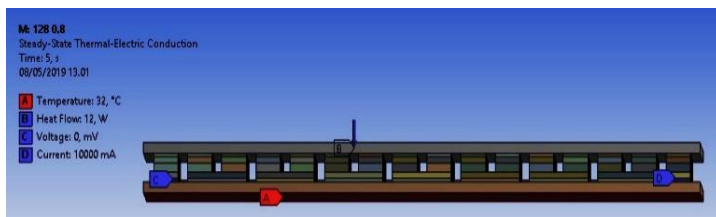
Penentuan kondisi batas pada simulasi termoelektrik disesuaikan dengan eksperimen sebelumnya (Nilna, 2018) baik yang digunakan untuk validasi (Tabel 3.9) maupun variasi termoelektrik yang akan disimulasikan (Tabel 3.10). Akan tetapi, terdapat perbedaan penentuan kondisi batas pada termoelektrik dimana kondisi batas pada termoelektrik dengan menggunakan *heatsink* ditambahkan nilai konveksi yang sesuai pada Tabel 3.11. Nilai konveksi ditentukan berdasarkan Persamaan 2.24 dan 2.25 dengan parameter variasi kecepatan udara untuk variasi jumlah *fin heatsink*. Letak kondisi batas bisa ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan 3.11. Selanjutnya penentuan kondisi batas pada simulasi *medical coolbox* kondisi batas yang ditentukan sesuai dengan Tabel 3.11.

Tabel 3.9 Kondisi Batas Simulasi Termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018) untuk Validasi

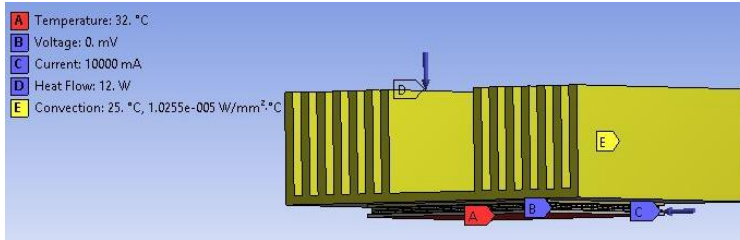
Arus (A)	Temperatur Panas (degC)	Kalor Serap, Qc (Watt)	Ground Voltage (V)
0.5	28.37	0.753	
1	28.71	1.359	
1.5	29.33	1.690	
2	30.35	1.981	
2.5	31.52	2.101	0
3	31.84	2.100	
3.5	33.98	1.775	
4	34.96	1.406	
4.5	36.53	0.934	
5	38.86	0.264	

Tabel 3.10 Kondisi Batas Simulasi Termoelektrik pada Variasi Geometri Ketinggian dan Jumlah p-n Semikonduktor

Kondisi Batas	Jumlah
<i>Temperature hot side</i>	32 ^o C
<i>Voltage</i>	0 V
<i>Heat Flow</i>	7,3552 W
<i>Current</i>	10 A



Gambar 3.10 Letak kondisi batas simulasi termoelektrik (Fauziyah, Nilna, 2018)



Gambar 3.11 Letak kondisi batas simulasi *heatsink* dan termoelektrik

Tabel 3.11 Kondisi Batas Simulasi Perpindahan Kalor pada *Heatsink* dan *Medical Coolbox*

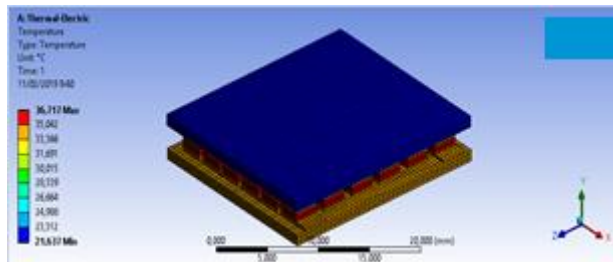
Simulasi <i>Heatsink</i> + Termoelektrik	
Kondisi Batas	Jumlah
Temperatur <i>hot side</i>	32°C
<i>Voltage</i>	0 mV
<i>Heat flow</i>	7,3 W
<i>Current</i>	10 A
<i>Convection</i>	20,51 x 10 ⁻⁶ W/mm ² (1 m/s)
	17,76 x 10 ⁻⁶ W/mm ² (0,75 m/s)
	14,5 x 10 ⁻⁶ W/mm ² (0,5 m/s)
	10,255 x 10 ⁻⁶ W/mm ² (0,25 m/s)
Simulasi <i>Medical Coolbox</i>	
Kondisi Batas	Jumlah
<i>Wall Dinding</i> (<i>Polyurethane</i>)	1,9 W/m ²
<i>Initial Temperature</i>	25°C
<i>Kecepatan Inlet</i>	1, 0,75, 0,5 dan 0,25 m/s (Variasi Kecepatan)
<i>Temperature Inlet</i>	16,97, 16,64, 16,19 dan 15,52°C *
<i>Turbulence Model</i>	k-epsilon

* Nilai tersebut didapatkan dari simulasi termoelektrik dengan menggabungkan *heatsink*

3.4.4 Solution

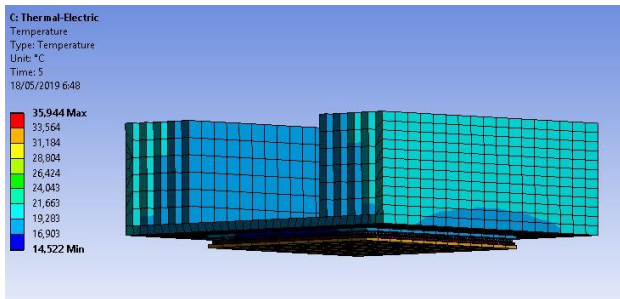
Tahap *solution* merupakan tahap perhitungan atau iterasi oleh komputer terhadap kondisi batas yang telah ditentukan. Pada tahap ini dipilih variabel yang ingin dianalisis berupa distribusi temperatur dan tegangan listrik yang dibutuhkan pada simulasi termoelektrik tanpa menggunakan *heatsink* dan menggunakan *heatsink*. Sedangkan pada simulasi kecepatan udara pada *medical coolbox* didapatkan distribusi temperatur tiap waktu untuk melihat perubahan temperature *medical coolbox* terhadap perubahan waktu. Setelah pemilihan variabel yang ingin dianalisis, maka selanjutnya akan dilakukan proses iterasi hingga mencapai nilai konvergensi sehingga data hasil simulasi dapat diambil. Informasi konvergensi pada simulasi menggunakan *software thermal electric* dapat dilihat pada *solution information* sedangkan untuk melihat informasi konvergensi pada simulasi menggunakan *software CFD* dapat dilihat pada *solution* dengan batas konvergensi sebesar 10^{-4} .

3.4.5 Post Processing dan Pengambilan Data

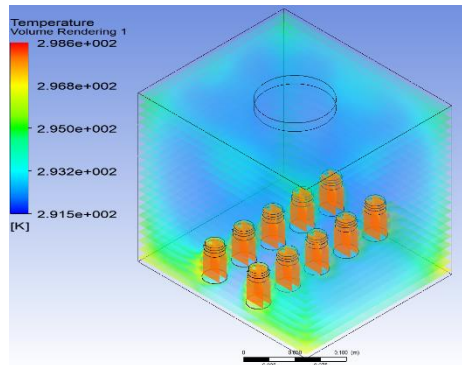


Gambar 3.12 Kontur temperatur termoelektrik *cooler*

Tahap *post processing* merupakan tahap pengambilan hasil simulasi berupa kontur atau grafik, pada tahap ini peneliti mengambil hasil simulasi berupa kontur distribusi temperatur dan tegangan listrik yang dibutuhkan pada simulasi termoelektrik tanpa *heatsink* dan menggunakan *heatsink*. Sedangkan pada simulasi kecepatan udara *medical coolbox* dapat dilihat pada CFD *post* di *result*. Kontur distribusi temperatur yang diperoleh pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 3.12-3.14.



Gambar 3.13 Kontur temperatur *heatsink*



Gambar 3.14 Kontur temperatur *coolbox*

3.5 Validasi Hasil Simulasi

Validasi adalah proses penentuan bahwa hasil simulasi telah merepresentasikan suatu model secara akurat sesuai dengan teori yang telah ada (Oberkampff, William L.; Trucano, Timothy G., 2002). Tujuan dari tahap validasi adalah memastikan bahwa hasil simulasi pada penelitian ini memiliki selisih maksimal 10% dengan hasil simulasi pada penelitian sebelumnya. Apabila data tidak sesuai dengan teori atau penelitian sebelumnya, maka akan dilakukan proses simulasi ulang. Data yang telah diperoleh dan lolos tahap validasi kemudian diolah dan dianalisis pada tahap

selanjutnya. Untuk menghitung selisih hasil simulasi dapat dilakukan menggunakan Persamaan (3.2).

$$\text{Selisih (\%)} = \frac{|\text{hasil simulasi} - \text{hasil penelitian}|}{\text{hasil penelitian}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah semua data hasil simulasi telah diperoleh. Pada bagian ini akan dianalisis mengenai distribusi temperatur, tegangan dan daya listrik, C.O.P pada termoelektrik dan distribusi temperatur pada termoelektrik yang menggunakan *heatsink* untuk mengetahui pengaruh adanya *heatsink* terhadap kondisi temperatur di sisi dingin termoelektrik. Selain itu, digunakan variasi kecepatan udara di dalam *medical coolbox* untuk dianalisis kontur distribusi temperatur berdasarkan fungsi waktu. Setelah itu, dapat ditentukan efisiensi sistem, nilai C.O.P aktual dan C.O.P carnot.

3.7 Penarikan Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan ketika seluruh analisis data dari setiap variasi telah dilakukan. Kesimpulan akan menjawab rumusan masalah dari penelitian dalam tugas akhir ini.

3.8 Penyusunan Laporan Akhir

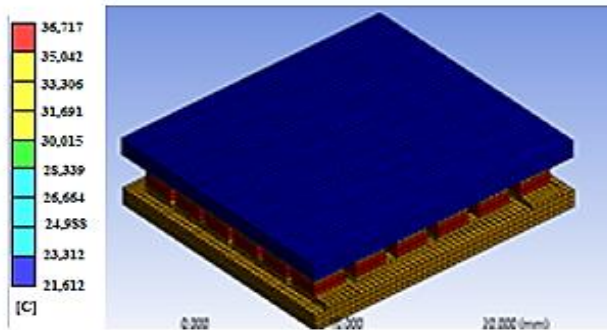
Penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari pelaksanaan tugas akhir ini. Laporan memuat hasil penelitian yang telah dilaksanakan selama tugas akhir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Hasil Simulasi

Pada penelitian ini, hasil simulasi dibandingkan dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya oleh (Fauziyah, Nilna, 2018) mengenai eksperimen pembuatan termoelektrik dengan menggunakan BiTe_3 . Oleh karena itu, pembuatan simulasi yang telah dibuat dapat diterapkan pada setiap variasi data yang hasilnya dapat dipertanggung jawabkan.

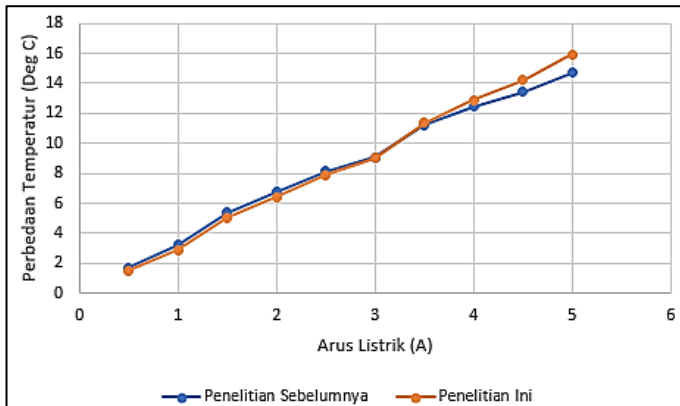


Gambar 4.1 Kontur distribusi temperatur hasil simulasi pada penelitian ini yang akan dibandingkan oleh eksperimen sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018)

Setelah itu, untuk dapat mempertajam hasil verifikasi dilakukan variasi arus terhadap perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh simulasi dengan menyesuaikan dengan apa yang telah dikerjakan pada eksperimen yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Sehingga didapatkan perbandingan kontur beda temperatur tiap arus, *heatflow* dan temperatur *hot side* yang berbeda-beda. Berikut ini Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 yang menjelaskan perbedaan antara simulasi dengan eksperimen pada penelitian sebelumnya.

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Variabel Keluaran Hasil Simulasi pada Penelitian Ini dengan Penelitian Sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018)

No	Penelitian Sebelumnya (Nilna, 2018)				Penelitian Ini (Revisi)				Selisih (%)
	Arus (A)	Temperatur Panas (degC)	Temperatur Dingin (degC)	Perbedaan	Arus (A)	Temperatur Panas (degC)	Temperatur Dingin (degC)	Perbedaan	
1	0,5	28,37	26,65	1,72	0,5	28,37	26,86	1,51	11,94
2	1	28,71	25,48	3,23	1	28,71	25,81	2,90	10,34
3	1,5	29,33	23,91	5,42	1,5	29,33	24,25	5,08	6,35
4	2	30,35	23,59	6,76	2	30,35	23,91	6,44	4,74
5	2,5	31,52	23,4	8,12	2,5	31,52	23,62	7,90	2,75
6	3	31,84	22,76	9,08	3	31,84	22,84	9,00	0,89
7	3,5	33,98	22,75	11,23	3,5	33,98	22,60	11,38	1,30
8	4	34,96	22,5	12,46	4	34,96	22,06	12,90	3,53
9	4,5	36,53	23,11	13,42	4,5	36,53	22,31	14,22	5,93
10	5	38,86	24,13	14,73	5	38,86	22,93	15,93	8,13
Rata-Rata									5,59



Gambar 4.2 Grafik hasil validasi penelitian ini dengan penelitian sebelumnya (Fauziyah, Nilna, 2018)

Dari hasil validasi simulasi tersebut didapatkan bahwa geometri termoelektrik sudah menunjukkan valid yang menunjukkan rata-rata selisih perbedaan temperature di kedua sisi dari penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah 5,59% sehingga dapat digunakan untuk melakukan variasi-variasi dalam proses simulasi sistem pendinginan termoelektrik di dalam *medical*

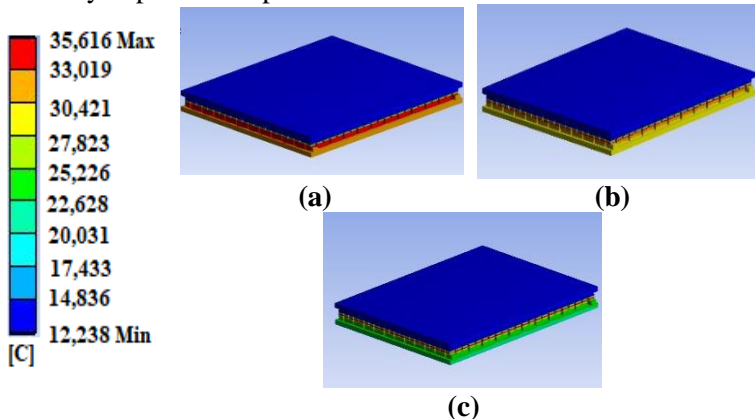
coolbox. Selain itu dari grafik ini dapat dijelaskan bahwa proses validasi dilakukan dengan melakukan hal yang sama dengan penelitian sebelumnya yakni dengan memvariasikan arus listrik pada module termoelektrik tersebut, sehingga pengaruh arus listrik sangatlah besar dikarenakan semakin besar arus listrik yang mengalir pada termoelektrik semakin besar pula perbedaan temperatur antara kedua sisi.

4.2 Analisis Termodinamika pada Simulasi Termoelektrik

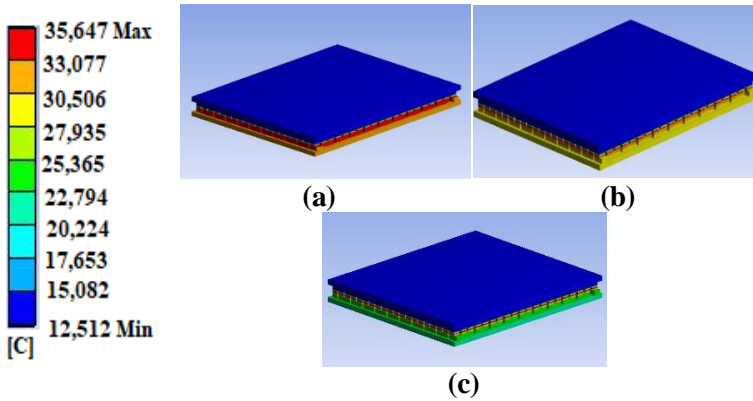
Analisis termodinamika pada simulasi termoelektrik ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari parameter variasi geometri berupa ketinggian p-n semikonduktor dan jumlah *couple* p-n semikonduktor terhadap distribusi temperatur. Distribusi temperatur yang ditinjau adalah kontur berdasarkan sumbu y secara keseluruhan dan sepanjang sumbu x dan z pada lapisan keramik.

4.2.1 Distribusi Temperatur Termoelektrik Cooler Sepanjang Sumbu y

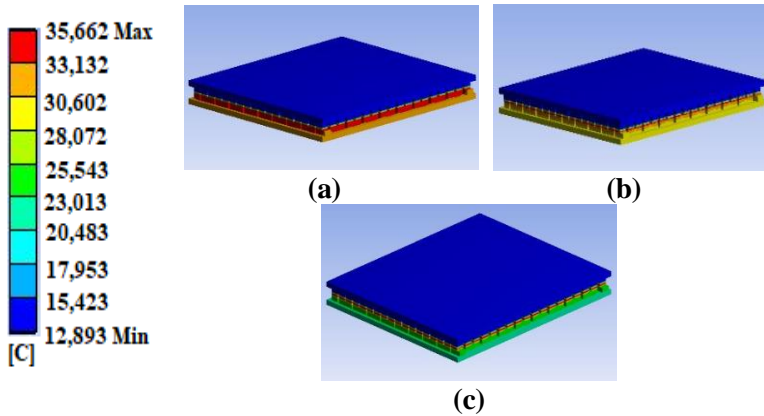
Distribusi temperatur generator termoelektrik sepanjang sumbu y dapat dilihat pada Gambar 4.3 - 4.6



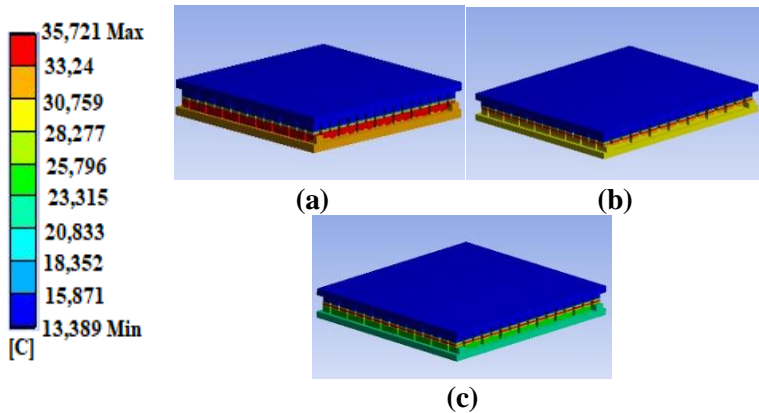
Gambar 4.3 Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 242 *couple*s pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm



Gambar 4.4 Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 200 *couples* pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm



Gambar 4.5 Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 162 *couples* pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm



Gambar 4.6 Distribusi temperatur sepanjang sumbu y termoelektrik 128 *couples* pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,5 (b) 0,65 (c) 0,8 mm

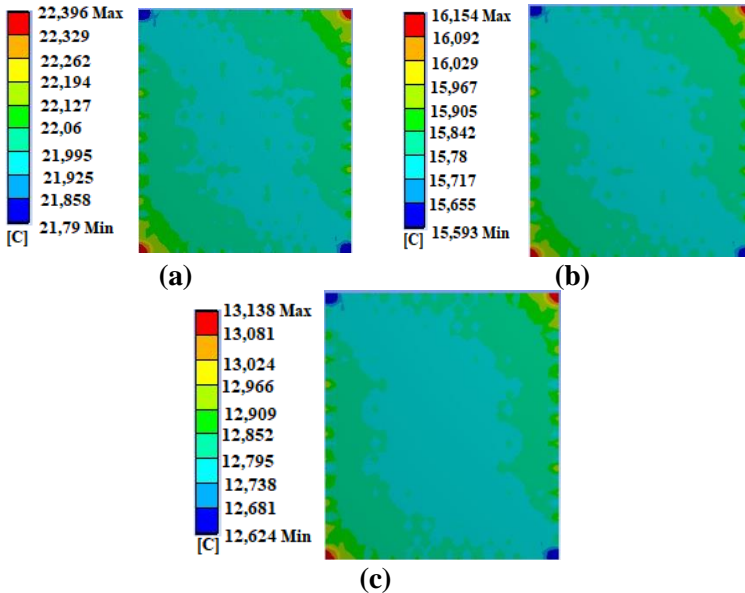
Distribusi temperatur muncul pada tiap variasi geometri termoelektrik ketika pada saat iterasi sudah dalam kondisi *steady* dan konvergen, sehingga dalam simulasi ini dicapai hasil distribusi temperatur yang sesuai dengan kapaistas yang dimiliki oleh termoelektrik itu sendiri. Adanya daya yang diserap oleh termoelektrik dan arus listrik yang mengalir, akibatnya terjadi fenomena perbedaan temperatur antara kedua sisi. Ketika arus listrik mengalir pada termoelektrik, maka termoelektrik akan menyerap kalor dan sekaligus melepas kalor, sehingga terjadilah perbedaan temperatur di antara kedua sisi. Hal inilah yang disebut dengan efek Peltier. Berdasarkan Gambar 4.3 - 4.6 dapat dilihat bahwa terjadi fenomena penurunan temperatur dari salah satu sisi yang menjadi kondisi batas yakni 32°C (Pauji, Ade Ahmad, 2016) menjadi temperatur yang lebih rendah pada sisi lainnya.

Perubahan distribusi temperatur secara jelas (khususnya temperatur sisi dingin pada termoelektrik) akibat adanya pengaruh variasi geometri maka diambil kontur distribusi temperatur sepanjang sumbu x dan z di bagian lapisan keramik sisi dingin termoelektrik yang akan dijelaskan pada Sub Bab 4.2.2 - 4.2.3. Pengambilan distribusi temperatur pada daerah keramik sisi dingin juga dikarenakan distribusi temperatur pada

daerah ini memberikan pengaruh terhadap proses pendinginan pada *medical coolbox*.

4.2.2 Pengaruh Ketinggian p-n Semikonduktor terhadap Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur sepanjang sumbu x dan z pada permukaan lapisan keramik dekat sisi dingin untuk setiap variasi ketinggian p-n semikonduktor dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Distribusi temperatur sepanjang sumbu x dan z pada variasi ketinggian p-n semikonduktor (a) 0,8 (b) 0,65 (c) 0,5

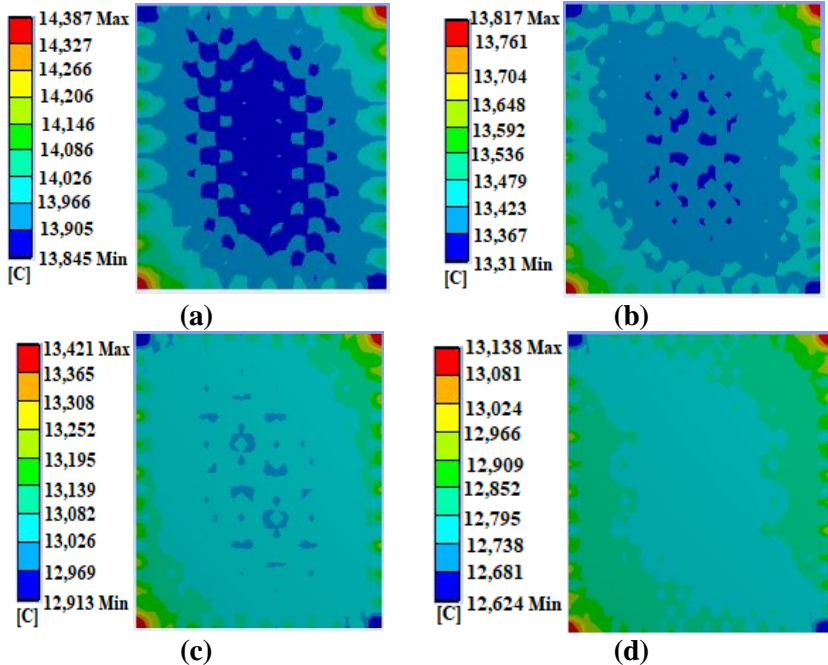
Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa jika ketinggian p-n semikonduktor meningkat maka temperatur pada bagian lapisan keramik semakin meningkat. Artinya semakin rendah struktur p-n semikonduktor yang terbentuk, maka semakin menurun pula temperatur sisi dingin. Hal tersebut dikarenakan sesuai prinsip dasar efek Peltier, bahwa semakin tinggi p-n semikonduktor maka semakin besar resistansi yang dimiliki oleh

termoelektrik, akibatnya aliran elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe p ke tingkat energi yang lebih tinggi pada semikonduktor tipe n akan semakin kecil akibatnya penyerapan kalor menjadi berkurang sehingga temperatur sisi dingin menjadi naik karena hubungan resistansi dengan temperatur adalah berbanding lurus sesuai dengan fenomena Persamaan (2.8). Hal ini dibuktikan pada kontur distribusi temperatur pada sisi dingin keramik, tercatat bahwa temperatur sisi dingin jika dirata-ratakan dimulai dari ketinggian yang paling tinggi ke rendah adalah 22,01°C, 15,79°C dan 12,81°C pada 242 *couples* p-n semikonduktor dengan temperatur sisi panas yang dijaga konstan sebesar 32°C

4.2.3 Pengaruh Jumlah *Couple* terhadap Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur yang terjadi pada variasi geometri jumlah *couple* p-n semikonduktor dapat dilihat pada Gambar 4.8. Kontur distribusi temperatur pada sisi dingin tiap variasi jumlah *couple* memberikan perbedaan, dengan melakukan rata-rata distribusi temperatur sisi dingin tersebut, didapatkan temperatur pada masing-masing variasi dari *couple* semikonduktor 128 *couples*, 162 *couples*, 200 *couples* hingga 242 *couples* berturut-turut adalah 13,95°C, 13,43°C, 13,07°C dan 12,81°C dengan temperatur sisi panas dijaga konstan. Berdasarkan hasil tersebut, dikatakan bahwa semakin banyak *couple* p-n semikonduktor yang terpasang pada satu *module* termoelektrik, maka semakin kecil temperatur di sisi dingin, artinya temperature yang dihasilkan pada termoelektrik semakin dingin. Hal ini dikarenakan bahwa semakin banyak jumlah *couple* p-n semikonduktor, maka semakin besar nilai koefisien Seebeck yang ada pada satu *module* termoelektrik. Hubungan antara koefisien Seebeck dengan temperatur sisi dingin yang dihasilkan berbanding terbalik. Oleh karena itu, semakin besar nilai koefisien Seebeck, maka temperatur sisi dingin semakin kecil sesuai fenomena Persamaan (2.8). Selain itu, semakin banyak jumlah *couple* p-n semikonduktor maka luas permukaan bidang termoelektrik semakin besar, penyerapan kalor semakin banyak

untuk mengalirkan muatan elektron dari tingkat energi yang lebih rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Fenomena tersebut mengakibatkan temperatur sisi dingin semakin kecil.



Gambar 4.8 Distribusi temperatur sepanjang sumbu x dan z pada variasi banyaknya *couple* pada (a) 128 *couples* (b) 162 *couples* (c) 200 *couples* (d) 242 *couples*

4.3 Pengaruh Geometri terhadap Tegangan, Daya Listrik dan C.O.P pada Termoelektrik

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai tegangan listrik dan daya listrik yang dibutuhkan pada termoelektrik untuk mendapatkan penurunan temperatur maksimal yang dipengaruhi oleh variasi geometri termoelektrik. Tegangan listrik didapatkan dari hasil simulasi, sedangkan daya listrik dihitung berdasarkan

data tegangan listrik dan arus listrik yang dijaga konstan sebesar 10 A dengan menggunakan Persamaan (2.14) dan (2.16).

4.3.1 Pengaruh Ketinggian p-n Semikonduktor terhadap Daya Listrik dan Performansi Termoelektrik (C.O.P)

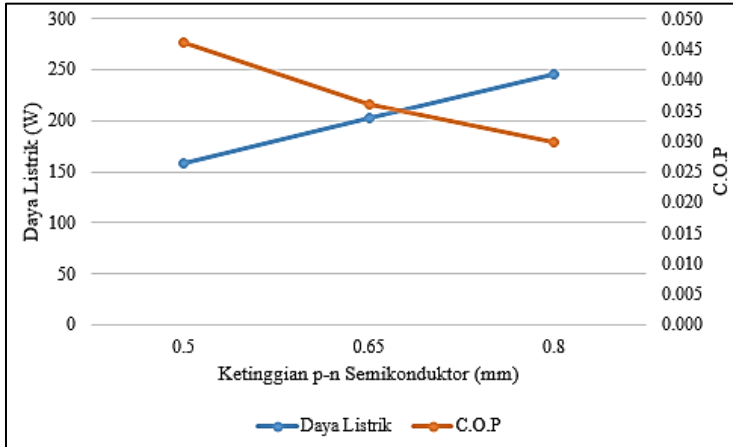
Data hasil simulasi pengaruh ketinggian p-n semikonduktor terhadap tegangan listrik dan daya listrik yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi p-n semikonduktor di dalam termoelektrik, maka tegangan listrik makin besar jika arus listrik dijaga konstan. Sehingga dengan tegangan listrik yang semakin besar maka daya listrik juga semakin besar. Sehingga performansi yang dihasilkan semakin menurun tiap variasi ketinggian p-n semikonduktor (Gong, Tingrui. et al, 2018) yang dapat digambarkan pada Gambar 4.9.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Termoelektrik dengan Variasi Ketinggian p-n Semikonduktor dari Segi Tegangan Listrik dan Daya Listrik yang Dibutuhkan

Variasi	Ukuran (mm)	Tegangan Listrik (V)	Daya Listrik (W)
Ketinggian p-n semikonduktor	0,5	15,80	158,03
	0,65	20,23	202,31
	0,8	24,56	245,55

Termoelektrik dengan mengubah variasi ketinggian p-n semikonduktor dapat mempengaruhi performansi komponen termoelektrik itu sendiri. Berdasarkan Persamaan (2.11) bahwa semakin tinggi p-n semikonduktor, maka menghasilkan resistansi listrik termoelektrik yang besar. Akibatnya, sesuai Persamaan (2.12) pengaruh resistansi listrik yang besar dapat menaikkan nilai tegangan, karena hubungan antara resistansi dengan tegangan listrik berbanding lurus. Kenaikan tegangan listrik dapat mengakibatkan kenaikan daya listrik pula sesuai Persamaan (2.13), sehingga performansi termoelektrik (C.O.P) semakin menurun. Hal ini dikarenakan berdasarkan Persamaan

(2.14) hubungan antara daya listrik dengan nilai C.O.P berbanding terbalik.



Gambar 4.9 Perbandingan antara daya listrik terhadap C.O.P termoelektrik berdasarkan variasi ketinggian p-n semikonduktor

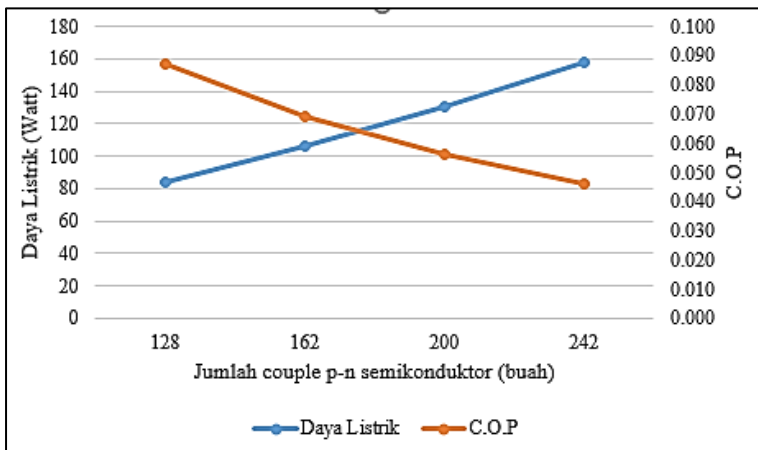
4.3.2 Pengaruh Jumlah *Couple* p-n Semikonduktor terhadap Daya Listrik dan Performansi Termoelektrik (C.O.P)

Data hasil simulasi pengaruh jumlah *couple* p-n semikonduktor terhadap tegangan listrik yang dibutuhkan sehingga didapatkan daya listrik termoelektrik *cooler*. Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Termoelektrik dengan Variasi Banyaknya Couple p-n Semikonduktor dari Segi Tegangan Listrik dan Daya Listrik yang Dibutuhkan

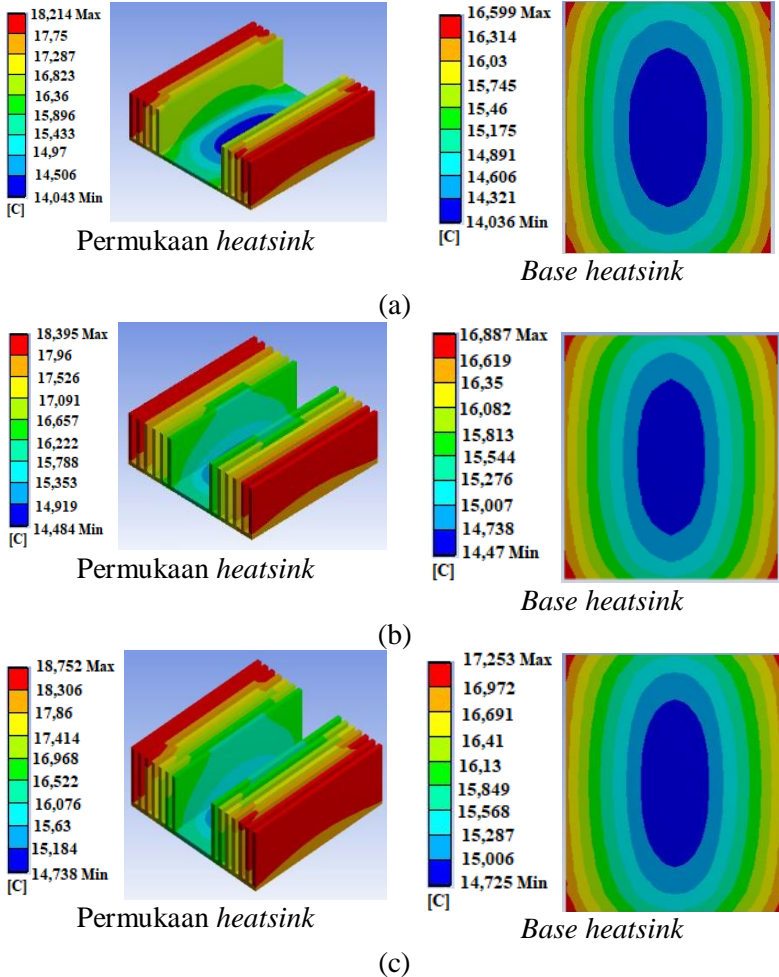
Variasi	Ukuran (<i>couple</i>)	Tegangan Listrik (V)	Daya Listrik (W)
Jumlah p-n semikonduktor	128	8,35	83,51
	162	10,58	105,84
	200	13,05	130,51
	242	15,80	158,03

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa semakin banyak *couple* p-n semikonduktor, maka tegangan listrik yang dibutuhkan akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh dari koefisien Seebeck yang terkandung di dalam material termoelektrik. Berdasarkan Persamaan (2.9), bahwa semakin banyak *couple* p-n semikonduktor maka semakin besar nilai koefisien Seebeck di dalam satu *module* termoelektrik sehingga hubungan antara koefisien Seebeck dengan tegangan listrik adalah berbanding lurus sesuai persamaan (2.12), artinya tegangan listrik semakin besar maka daya listrik yang dibutuhkan semakin besar pula sesuai Persamaan (2.13). Sehingga berdasarkan persamaan (2.14) performansi (C.O.P) yang dihasilkan pula semakin kecil karena berbanding terbalik dengan daya listrik dari termoelektrik. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.10.

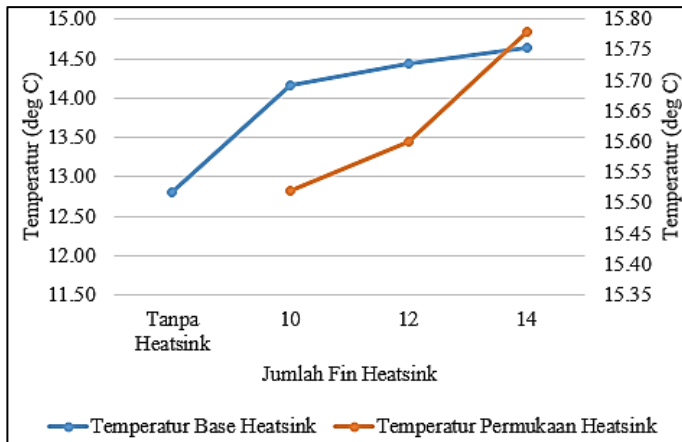


Gambar 4.10 Perbandingan antara daya listrik terhadap C.O.P termoelektrik berdasarkan variasi jumlah p-n semikonduktor

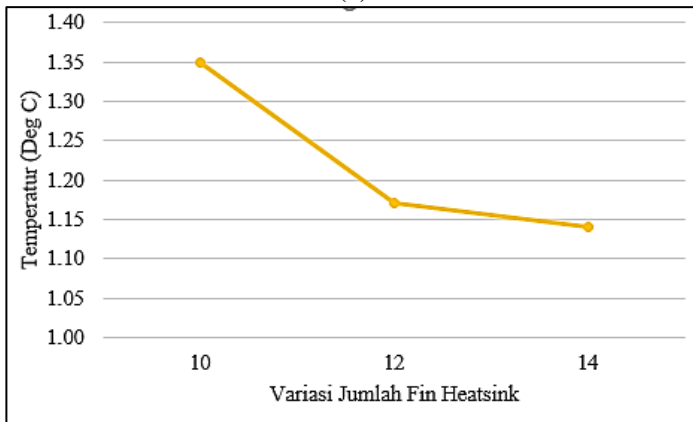
4.4 Analisa Pengaruh Geometri *Heatsink* pada Termoelektrik Terhadap Distribusi Temperatur Sisi Dingin



Gambar 4.11 Kontur distribusi temperatur pada *heatsink* dengan variasi (a) 10 *fin* (b) 12 *fin* dan (c) 14 *fin* pada termoelektrik dengan jumlah 242 *couples* dan ketinggian 0,5 mm.



(a)



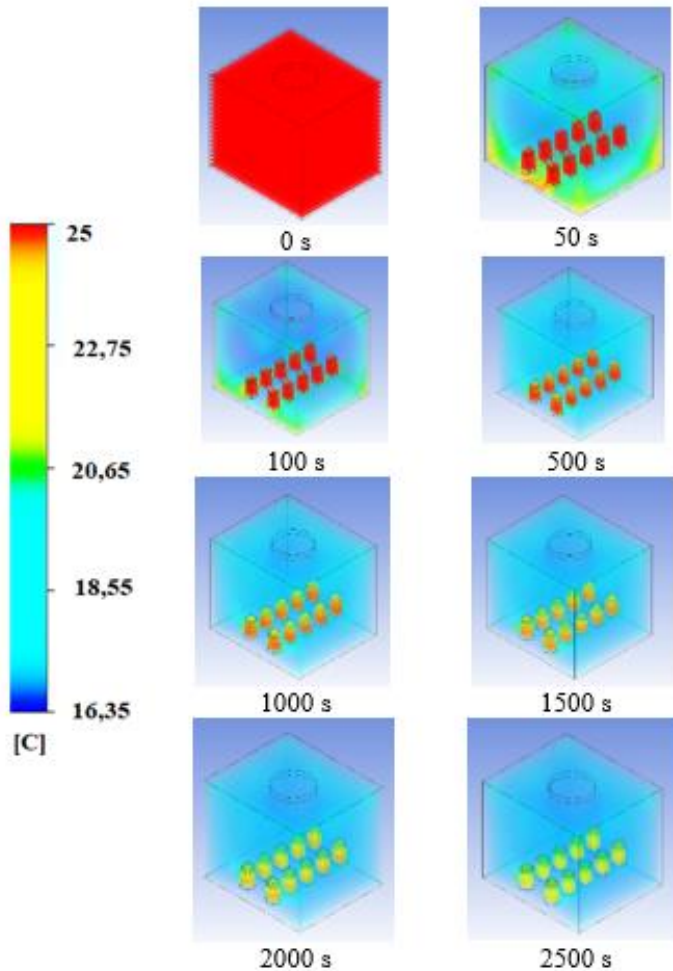
(b)

Gambar 4.12 Grafik perubahan temperatur pada (a) *base heatsink* (sisi dingin termoelektrik) dan permukaan *heatsink* dan (b) perbedaan antara *base heatsink* dengan permukaan *heatsink*, akibat pengaruh variasi jumlah *fin heatsink*.

Pada penelitian sebelumnya, termoelektrik membutuhkan komponen *heatsink* yang dapat membantu proses pendinginan dengan menggunakan termoelektrik. Dalam penelitian ini,

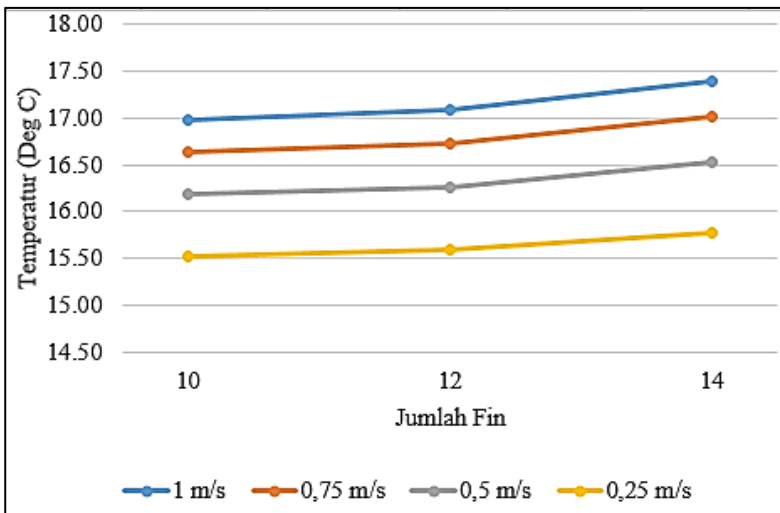
pembahasan akan berfokus pada analisa termoelektrik sisi dingin yang diberikan *heatsink* dengan berbagai variasi yakni 10 *fin*, 12 *fin* dan 14 *fin*. Dimana pengaruh *heatsink* terhadap distribusi temperatur pada sisi dingin termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 4.11 mengenai kontur distribusi temperatur pada sisi dingin termoelektrik dengan menggunakan *heatsink* memiliki perbedaan temperatur antara temperatur permukaan *heatsink* dengan *base heatsink* (termoelektrik bagian sisi dingin). Pada *heatsink* dengan variasi 10 *fin*, 12 *fin*, dan 14 *fin* secara berturut-turut memiliki temperatur *base heatsink* sebesar 14,17°C, 14,43°C dan 14,64°C. Akibat dari proses konduksi dan konveksi di sekitar permukaan *heatsink*, maka temperatur permukaan *heatsink* berubah menjadi 15,52°C, 15,60°C dan 15,78°C. Lebih jelas pengaruh jumlah *fin heatsink* terhadap distribusi temperatur sisi dingin dapat dilihat pada Gambar 4.12. Melalui Gambar 4.12 bagian (a) jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *heatsink*, berdasarkan Persamaan (2.11) maka *module* termoelektrik dengan menggunakan *heatsink* memiliki nilai resistivitas termal semakin besar sehingga nilai resistansi termoelektrik semakin besar pula. Akibatnya jumlah aliran elektron untuk berpindah dari tingkat energi rendah ke tingkat energi tinggi berkurang, penyerapan kalor yang berkurang. Sehingga temperatur yang dihasilkan pada sisi dingin, baik dari bagian permukaan maupun *base heatsink* semakin besar. Jika jumlah *fin* pada *heatsink* divariasikan bertambah, maka semakin bertambah pula area perpindahan kalor. Sehingga nilai perbedaan temperatur sisi panas dengan sisi dingin semakin kecil, sehingga temperatur sisi dingin pada *bese heatsink* dan permukaan *heatsink* semakin besar dengan temperatur sisi panas dijaga konstan sesuai dengan Persamaan (2.21). Sama halnya dengan grafik pada Gambar 4.12 bagian (b), semakin banyak jumlah *fin heatsink* maka perbedaan temperatur antara *base* (sisi dingin dari termoelektrik) dengan permukaan *heatsink* mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan jumlah *fin* yang semakin banyak, maka luas permukaan *heatsink* semakin besar, akibat dari proses perpindahan kalor menyebabkan perbedaan temperatur semakin kecil sesuai dengan Persamaan (2.21).

4.5 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Proses Pendinginan *Medical Coolbox*

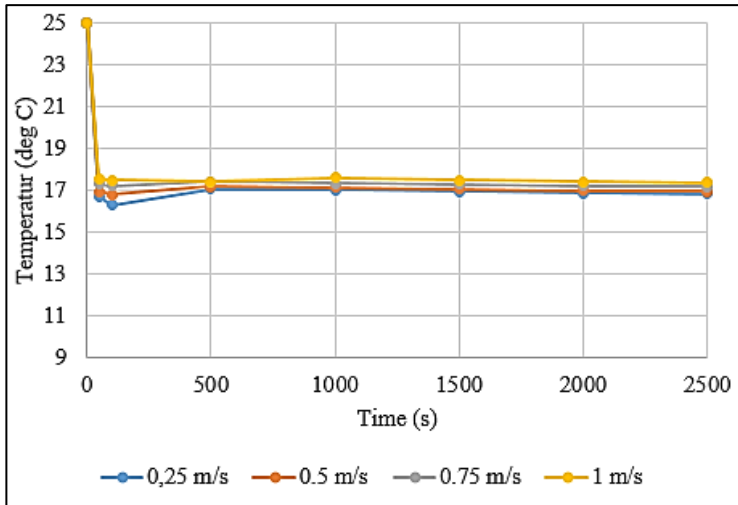


Gambar 4.13 Simulasi sirkulasi distribusi udara dingin pada *medical coolbox* yang dilakukan dengan menggunakan metode transien, fungsi waktu

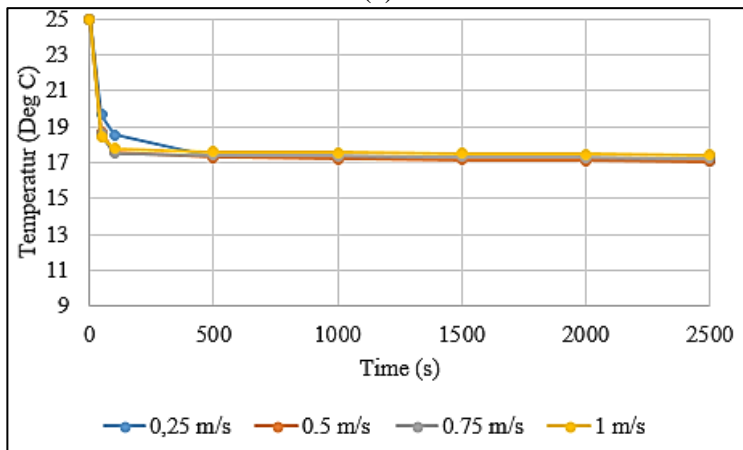
Proses pendinginan dengan menggunakan sistem termoelektrik pada *medical coolbox* membutuhkan waktu yang cukup lama agar proses pendinginan merata. Hal ini terjadi karena kapasitas termoelektrik hanya dapat menyerap beban kalor yang sangat kecil, sehingga tidak dapat digunakan untuk mendinginkan objek yang memiliki kapasitas kalor yang besar. Akan tetapi, untuk mengantisipasi permasalahan tersebut dibutuhkan bantuan kecepatan udara dari *fan* agar distribusi temperatur udara dingin secara merata dan cepat dengan metode transien yang dilakukan berdasarkan fungsi waktu sesuai pada Gambar 4.13. Hal inilah menjadi metode yang sangat penting di dunia industri dan lingkungan yang perlu digunakan dalam proses kenyamanan termal dan pendinginan-pendinginan lainnya (Padet, J., 2005).



Gambar 4.14 Grafik perubahan temperatur permukaan *heatsink* akibat perubahan kecepatan udara yang mengalir dari permukaan *heatsink* menuju udara bebas di dalam *medical coolbox*



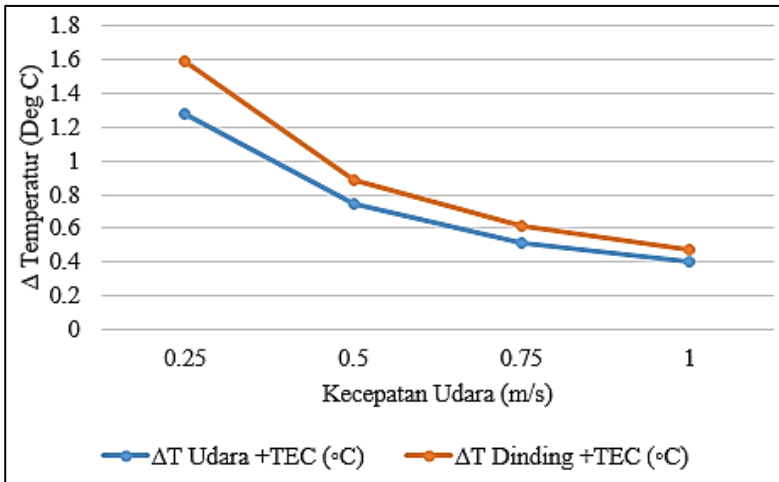
(a)



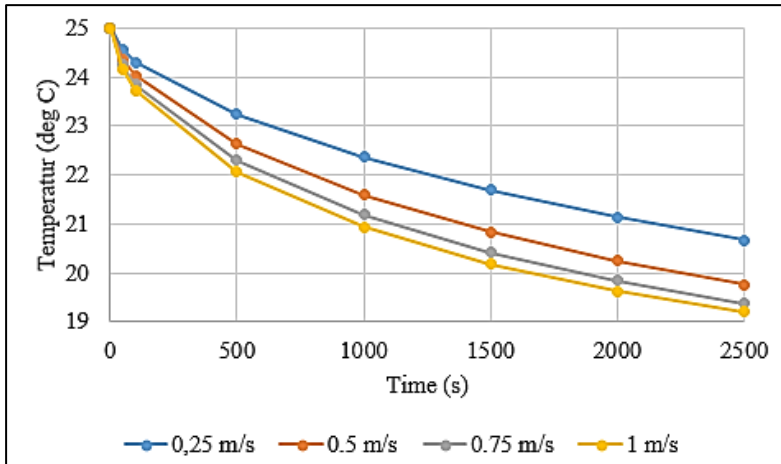
(b)

Gambar 4.15 Grafik temperatur pendinginan pada (a) udara bebas di dalam *medical coolbox* (b) dinding permukaan *medical coolbox*.

Variasi kecepatan udara dapat mempengaruhi temperatur permukaan *heatsink* yang berbeda-beda. Dengan gabungan antara variasi jumlah *fin heatsink* dengan kecepatan udara, maka temperatur pendinginan yang paling kecil terletak pada *heatsink* yang memiliki jumlah *fin* sebanyak 10 buah dengan nilai temperatur pada masing-masing kecepatan udara 0.25, 0.5, 0.75 dan 1 m/s adalah 15,52°C, 16,19°C, 16,64°C, dan 16,97°C. Sehingga dari hasil temperatur pada *heatsink*, maka hasil dari proses pendinginan berupa penurunan temperatur pada udara bebas di dalam *medical coolbox* dan penurunan temperatur pada dinding *medical coolbox* dapat terlihat pada Gambar 4.15 bagian (a) dan (b). Penurunan temperatur yang dihasilkan hingga mencapai 2500 detik adalah $17,25 \pm 0,15^\circ\text{C}$ pada dinding *box* dan $17 \pm 0,2^\circ\text{C}$ pada udara bebas di dalam *medical coolbox* dari temperatur awal 25°C . Akibatnya perbedaan temperatur antara permukaan *heatsink* dengan udara bebas di dalam dan di sekitar dinding *medical coolbox* dapat digambarkan grafiknya pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik perbedaan temperatur antara permukaan *heatsink* dengan udara bebas di dalam dan di sekitar dinding.



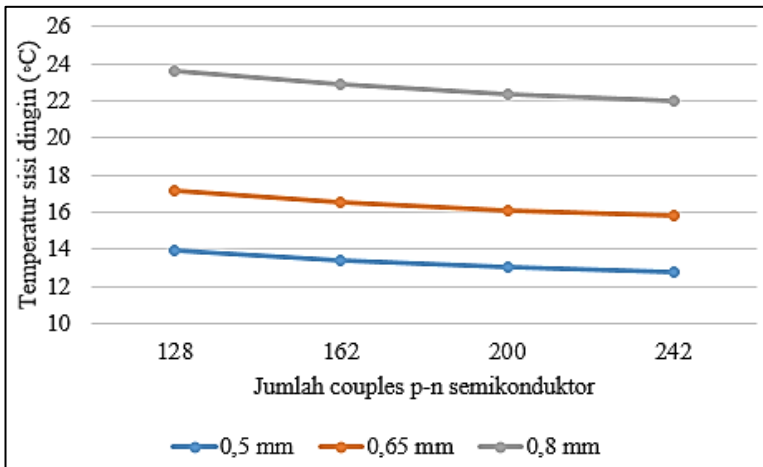
Gambar 4.17 Grafik penurunan temperatur pada produk insulin

Berdasarkan Persamaan (2.24) menunjukkan bahwa semakin besar nilai kecepatan udara yang mengalir di dalam *medical coolbox*, maka semakin besar nilai *reynold*. Hal ini terjadi karena hubungan antara nilai kecepatan udara dengan bilangan *reynold* berbanding lurus. Selanjutnya, dari Persamaan (2.25) bahwa semakin besar bilangan *reynold* maka semakin besar pula nilai koefisien konveksi, di mana hubungan antara bilangan *reynold* dengan koefisien konveksi berbanding lurus. Sehingga dimasukkan nilai koefisien konveksi pada Persamaan (2.23) mengakibatkan ΔT antara permukaan *heatsink* dengan udara bebas dan di sekitar dinding semakin menurun. Hal ini dikarenakan antara nilai koefisien konveksi dengan ΔT yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 memiliki hubungan yang berbanding terbalik sehingga nilai ΔT yang terkecil terdapat pada variasi kecepatan udara sebesar 1 m/s.

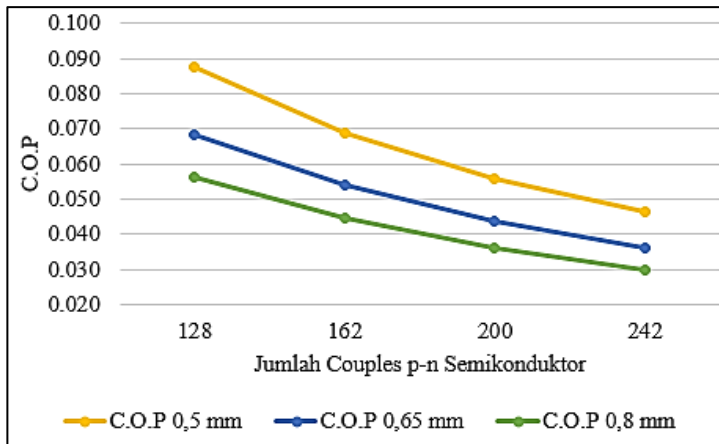
Pengaruh kecepatan udara dapat mengakibatkan perubahan temperatur produk yang pada penelitian ini, dikhususkan pada produk berupa insulin. Gambar 4.17 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan udara di dalam *medical coolbox*, maka penurunan temperatur produk semakin cepat dan nilai temperatur pendinginan produk semakin rendah. Secara berturut-turut (0,25 m/s, 0,5 m/s,

0,75 m/s dan 1 m/s) nilai temperatur pendinginan produk hingga 2500 detik adalah 20,67°C, 19,77°C, 19,38°C, dan 19,2°C. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan kecepatan udara di dalam *box* maka terjadi konveksi paksa udara di sekitar produk sehingga temperatur pendinginan produk cepat turun. Akan tetapi, temperatur produk lebih tinggi daripada dinding *box* dan udara bebas di dalam *box*, hal ini dikarenakan pada produk selain terjadi konveksi, juga terjadi konduksi pada dinding wadah produk berupa *glass* yang dipengaruhi oleh nilai kalor jenis spesifik yang sangat besar sesuai dengan Persamaan (2.20). Sehingga dari variasi kecepatan secara keseluruhan semakin cepat udara yang mengalir untuk mendistribusikan pendinginan, maka semakin cepat penurunan temperatur pendingin pada produk dan semakin kecil perbedaan temperatur antara *heatsink* dengan udara bebas di dalam dan di sekitar dinding *medical coolbox*.

4.6 Diskusi



Gambar 4.18 Grafik pengaruh variasi geometri terhadap distribusi temperatur sisi dingin termoelektrik cooler



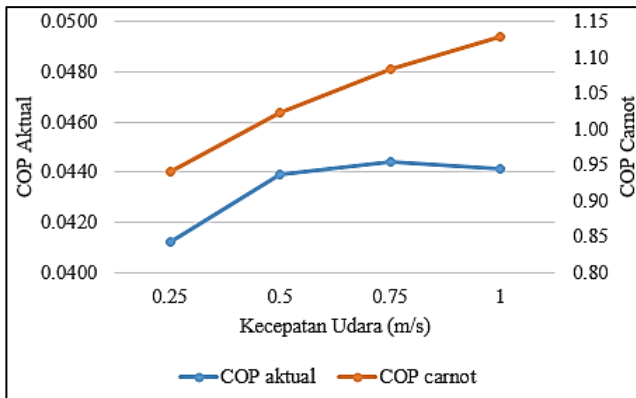
Gambar 4.19 Grafik pengaruh variasi geometri terhadap performansi termoelektrik berupa C.O.P

Pembahasan pada sub bab ini adalah membandingkan hasil simulasi berupa distribusi temperatur pada *thermal electric* antara variasi ketinggian p-n semikonduktor dan jumlah *couple* p-n semikonduktor satu dengan lainnya. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan grafik pada Gambar 4.18 dan 4.19 mengenai distribusi temperatur sisi dingin dengan performansi termoelektrik secara keseluruhan. Pada variasi geometri ketinggian p-n semikonduktor, setiap kenaikan 30% dari ketinggian semula, maka temperatur sisi dingin pada termoelektrik akan terjadi kenaikan temperatur bervariasi antara 23,15%-39,39%. Akan tetapi, jika dilihat dari sudut variasi jumlah p-n semikonduktor, setiap kenaikan 26,56% jumlah p-n semikonduktor, maka temperatur sisi dingin justru mengalami penurunan temperatur yang bervariasi sebesar 1,65%-3,73%. Selain itu, dari segi C.O.P, maka baik variasi ketinggian p-n semikonduktor maupun variasi jumlah p-n semikonduktor justru mengalami penurunan C.O.P berturut-turut sebesar 17,41%-22,07% dan 17,41%-21,29%. Oleh karena itu, pengaruh yang paling baik untuk dapat menentukan termoelektrik yang didesain sebagai sistem refrigerasi, dimana dibutuhkan penurunan temperatur sisi dingin semaksimal mungkin dengan penurunan C.O.P yang seminimal mungkin tiap perubahan geometri

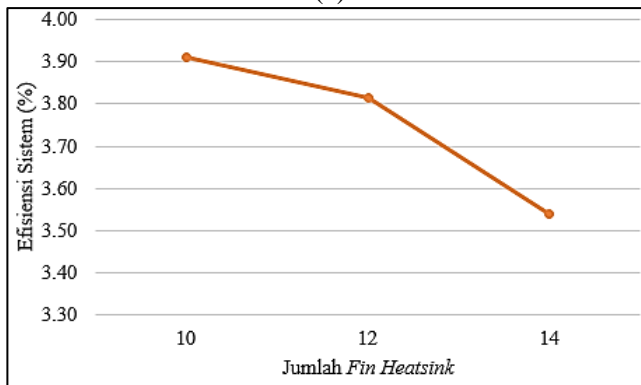
termoelektrik, maka hal yang perlu dilakukan adalah dengan menambah jumlah p-n semikonduktor. Dalam hal ini, untuk simulasi selanjutnya yakni untuk mengetahui pengaruh penambahan *heatsink* dan kecepatan udara di dalam *medical coolbox*, maka digunakan termoelektrik yang menghasilkan nilai temperatur sisi dingin di bawah temperatur *medical coolbox* yang diharapkan yakni 15°C berupa termoelektrik dengan ketinggian p-n semikonduktor 0,5 mm dan jumlah *couple* p-n semikonduktor sebanyak 242 *couple*. Hal ini dikarenakan geometri termoelektrik tersebut mencapai nilai temperatur sisi dingin sebesar $12,81^{\circ}\text{C}$.

Termoelektrik sebagai sistem refrigerasi, secara eksperimental dianjurkan menggunakan komponen tambahan yaitu, *heatsink* yang merupakan salah satu komponen yang dapat memperluas daerah temperatur di sisi dingin maupun sisi panas, sehingga proses penyerapan dan pembuangan kalor menjadi optimal. Akan tetapi, berdasarkan Gambar 4.12 dan 4.14 dengan memberikan *heatsink* justru menghasilkan kenaikan temperatur sisi dingin sebesar 14,42% jika dibandingkan dengan termoelektrik tanpa menggunakan *heatsink*. Setelah itu, dilakukan variasi jumlah *fin heatsink* yang menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur sisi dingin termoelektrik sebesar 2,11% tiap kenaikan 20% jumlah *fin*. Apalagi ditambah dengan pengaruh kecepatan udara di sekitar *heatsink* yang mengakibatkan kenaikan temperatur sisi dingin menjadi 2,33% tiap kenaikan kecepatan udara sebesar 25%. Akan tetapi, temperatur pendinginan sistem secara keseluruhan tidak mencapai temperatur kontrol sebesar 15°C . Meskipun mengalami penurunan temperatur sebesar 30,52% pada udara bebas di dalam *coolbox*, 30,24% pada dinding *box* dan 23,20% pada temperatur produk dengan kecepatan 1 m/s, temperatur pendinginan yang tercapai dari temperatur awal 25°C hanya sebesar $17,44^{\circ}\text{C}$ pada dinding *box*, $17,37^{\circ}\text{C}$ pada udara bebas di dalam *medical coolbox* dan $19,2^{\circ}\text{C}$ pada produk insulin dengan lama pendinginan mencapai 2500 detik. Secara keseluruhan, bahwa pengaruh variasi kecepatan *fan* dan jumlah *fin heatsink* mengakibatkan perubahan nilai C.O.P Aktual, C.O.P Carnot dan efisiensi sistem yang dapat dilihat pada Gambar 4.20. Hal ini

dikarenakan semakin besar kecepatan *fan* dan semakin kecil jumlah *fin heatsink* maka semakin besar penurunan temperatur pendinginan yang dihasilkan, akibatnya nilai performansi dan efisiensi sistem semakin besar. Sehingga jumlah *fin heatsink* sebanyak 10 buah dan kecepatan *fan* sebesar 1 m/s memberikan nilai C.O.P dan efisiensi sistem yang paling baik untuk pendinginan *medical coolbox*.



(a)



(b)

Gambar 4.20 Nilai C.O.P sistem akibat (a) perubahan kecepatan udara (b) jumlah *fin heatsink* yang dihasilkan pada proses pendinginan *medical coolbox*.

Faktor yang menyebabkan temperatur termoelektrik menjadi naik secara drastis dan nilai efisiensi sistem yang sangat kecil, yang seharusnya adanya *heatsink* dan penambahan kecepatan udara dingin dapat membantu proses pendinginan menjadi maksimal dan dapat mencapai temperatur kontrol adalah temperatur sisi panas pada simulasi penelitian yang dijaga konstan. Secara eksperimen, ketika terjadi penambahan *heatsink* dan adanya kecepatan udara di sekitar *heatsink* mengakibatkan temperatur sisi panas juga ikut berubah sehingga perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh termoelektrik tetap ikut berubah seiring dengan perubahan nilai penyerapan kalor yang semakin meningkat. Sehingga penyerapan kalor dan pembuangan kalor bekerja secara optimal. Selain itu, untuk dapat mencapai temperatur lebih dingin dan cepat, memiliki nilai C.O.P dan efisiensi sistem yang lebih besar dibutuhkan termoelektrik dengan jumlah yang banyak dan disusun secara *multistage*. Sistem termoelektrik secara *multistage* memberikan perbedaan temperatur yang besar antara sisi panas dengan sisi dingin daripada menggunakan satu atau *double stage* termoelektrik *coolers* (Patel, Jatin et al, 2016).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Perubahan ketinggian p-n semikonduktor yang semakin besar dapat mengakibatkan peningkatan temperatur sisi dingin sebesar 30,88% dan penurunan C.O.P sebesar 19,73%. Akan tetapi, perubahan jumlah p-n semikonduktor semakin banyak, maka dapat mengakibatkan penurunan temperatur sisi dingin sebesar 2,64% dan penurunan C.O.P sebesar 19,16%.
- b. Penambahan *heatsink* pada termoelektrik dapat mengakibatkan kenaikan temperatur sisi dingin sebesar 14,42%. Selain itu, perubahan jumlah *fin* pada *heatsink* yang semakin banyak mengakibatkan kenaikan temperatur sisi dingin sebesar 2,33%. Sehingga dengan variasi kecepatan *fan* dapat mengakibatkan penurunan temperatur *medical coolbox* yang maksimum sebesar 30,52% pada udara bebas di dalam *box*, 30,24% pada dinding *box* dan 23,20% pada produk berupa insulin dengan kecepatan 1 m/s selama 2500 detik.
- c. Desain sistem termoelektrik untuk mendinginkan *medical coolbox* hingga mencapai temperatur pendinginan maksimum adalah dengan menggunakan ketinggian 0,5 mm, jumlah *couple* p-n semikonduktor sebanyak 242 *couples*, jumlah *fin* pada *heatsink* sebanyak 10 *fin* dan kecepatan udara sebesar 1 m/s dengan distribusi temperatur yang dihasilkan adalah 16,97°C temperatur sisi dingin termoelektrik, 17,44°C pada dinding *box*, 17,37°C pada udara bebas di dalam *medical coolbox* dan 19,2°C pada produk insulin selama 2500 detik yang menghasilkan efisiensi sistem sebesar 3,9%, C.O.P aktual sebesar 0,0442 dan C.O.P carnot sebesar 1,13.

5.2 Saran

Saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya adalah diperlukan pengembangan penelitian berupa simulasi atau eksperimen dengan memperhatikan temperatur sisi panas dan mensimulasikan kebutuhan jumlah *module* termoelektrik yang disusun secara *multistage* agar dapat mengetahui dan membuktikan untuk meningkatkan performansi (C.O.P) sistem dan penurunan temperatur sisi dingin yang semaksimal mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, Putri Fitria. (2005). Implementasi Certainty Factor pada Diagnosa Penyakit Infeksi Tropis. *Riset Sains dan Teknologi*, 1-15.
- Dossat, Roy J. (1961). *Principle of Refrigeration*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Fauziah, Nilna. (2018). *Fabrikasi dan Simulasi Termoelektrik Cooler dengan Material Semikonduktor Bismuth Telluride (BiTe₃) Menggunakan Software Ansys Sederhana*. Surabaya: ITS.
- Gong, Tingrui. et al. (2018). Numerical Simulation on a Compact Thermoelectric Cooler for The Optimized Design. *Applied Thermal Engineering*, 815-825.
- Gunawan, Dian. (2017). *Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Termoelektrik dan Simulasi Distribusi Temperatur Menggunakan Comsol Multiphysics*. Bandung: Universitas Telkom.
- Harsono, Prasetyo. (2015). *Analisis Pengaruh Luasan Heatsink Terhadap Unjuk Kerja Portable Mini Refrigerator*. Jember: Universitas Jember.
- He, Rong Rong. (2017). Theoretical and Experimental Investigations of Thermoelectric Refriegration Box Used for Medical Service. *ISHVAC 2017*, 1215-1222.
- Huang, B.J. et al. (2000). A Design Method of Thermoelectric Cooler. *International Journal of Refrigeration*, 208-218.
- Jatmiko, Andreas Wahyu. (2014). *Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik*. Yogyakarta: Universitas Sanata Darma.
- Karyono, Tri Harso. (2001). Wujud Kota Tropis di Indonesia : Suatu Pendekatan Iklim, Lingkungan dan Energi. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 141-146.
- Kothandarman, C.P. (2006). *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. New Delhi: New Age International (P) Limited.
- Kresnoadi. (2017, December 21). *Ruang Guru*. Diambil kembali dari Macam-Macam Perpindahan Kalor: Konduksi,

- Konveksi, dan Radiasi:
<https://blog.ruangguru.com/perpindahan-kalor>
- Mainil, Rahmat Iman. (2015). *Penggunaan Modul Termoelektrik sebagai Elemen Pendingin Box Cooler*. Bandung: ITENAS.
- Mangsur. (2010). *Pengembangan Coolbox tipe CB-02 Multi Fungsi Ramah Lingkungan Berbasis Termoelektrik untuk Kendaraan Roda Dua*. Depok: Universitas Indonesia.
- Mani, Pooja Iyer. (2016). *Design, Modeling and Simulation of a Thermoelectric Cooling System (TEC)*. Michigan, USA: Western Michigan University.
- Murti, Parstowo. (2018). Pengaruh Jejari Hidrolik Regenerator dan Frekuensi Gelombang Bunyi Terhadap Kinerja Pompa Kalor Termoakustik Gelombang Berjalan. *Teknologi UMJ*, 148-152.
- Oberkampf, William L.; Trucano, Timothy G. (2002). Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics. *Progress in Aerospace Sciences*, 209-272.
- Padet, J. (2005). Transient Convective Heat Transfer. *Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering* (hal. 74-96). Rio de Janeiro: ABCM.
- Patel, Jatin et al. (2016). Improvement in The COP of Thermoelectric Cooler. *International Journal of Scientific & Technology Research* , 73-76.
- Pauji, Ade Ahmad. (2016). *Rancang Bangun Inkubator Bayi Prematur Berbasis Arduino dan Tempat Penyimpanan Air Susu Ibu*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Rajangan, V. (2015). Design and CFD Analysis of Thermoelectric Cooling System. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 399-403.
- Ramdhiani, Febri. (2015). *Efek Termolistrik*. Bogor: IPB.
- Satyareni, Diema Herynka. (2011). Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Infeksi Tropis dengan Menggunakan Forward dan Backward Chaining. *Teknologi*, 61-67.

- Selviana, Windy. (2017). *Analisa Kinerja Kotak Pendingin dan Penghangat Menggunakan Modul Termoelektrik TEC-12706*. Lampung: Universitas Lampung.
- Setyadi, Andrea Hermawan. (2014). *Pendingin Air Peltier dengan Rangkaian Kaskade Paralel*. Yogyakarta: Universitas Sanata Darma.
- Sungkawa, Dadang. (2018). *Iklm Indonesia*. Bandung: UPI FPIPS.
- Talarosha, Basaria. (2005). Menciptakan Kenyamanan Termal dalam Bangunan. *Sistem Teknik Industri*, 148-158.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN
Lampiran A Hasil Validasi Termoelektrik

No	Penelitian Sebelumnya (Nilina, 2018)				Temperatur Dingin (degC)	Perbedaan	Penelitian Ini (Revisi)			Selisih (%)	
	Arus (A)	Temperatur Panas (degC)	Kalor Serap, Qc (Watt)	Ground Voltage (V)			Arus (A)	Temperatur Panas (degC)	Temperatur Dingin (degC)		Perbedaan
1	0.5	28.37	0.753		26.65	1.72	0.5	28.37	26.86	1.51	11.94
2	1	28.71	1.359		25.48	3.23	1	28.71	25.81	2.90	10.34
3	1.5	29.33	1.690		23.91	5.42	1.5	29.33	24.25	5.08	6.35
4	2	30.35	1.981		23.59	6.76	2	30.35	23.91	6.44	4.74
5	2.5	31.52	2.101	0	23.4	8.12	2.5	31.52	23.62	7.90	2.75
6	3	31.84	2.100		22.76	9.08	3	31.84	22.84	9.00	0.89
7	3.5	33.98	1.775		22.75	11.23	3.5	33.98	22.60	11.38	1.30
8	4	34.96	1.406		22.5	12.46	4	34.96	22.06	12.90	3.53
9	4.5	36.53	0.934		23.11	13.42	4.5	36.53	22.31	14.22	5.93
10	5	38.86	0.264		24.13	14.73	5	38.86	22.93	15.93	8.13
Rata-Rata										5.59	

Lampiran B Hasil Simulasi Termoelektrik Tanpa Menggunakan Heatsink

Jumlah <i>couple</i>	Ketinggian Pin (mm)	Tc (°C)	Daya Listrik (W)	Qc	C.O.P
128	0.5	13.95	83.51	7.3	0.087
	0.65	17.18	106.67		0.068
	0.8	23.63	129.77		0.056
162	0.5	13.43	105.84		0.069
	0.65	16.56	135.52		0.054
	0.8	22.89	164.09		0.044
200	0.5	13.07	130.51		0.056
	0.65	16.12	167.47		0.044
	0.8	22.38	202.78		0.036
242	0.5	12.81	158.03		0.046
	0.65	15.79	202.31		0.036
	0.8	22.01	245.55		0.030

Lampiran C1 Hasil Simulasi Termoelektrik dengan Menggunakan Heatsink

Jumlah Fin	1 m/s			0,75 m/s				
	Temperatur Base (°C)	Temperatur Permukaan (°C)	ΔT (°C)	Convection Value (W/m ² K)	Temperatur Base (°C)	Temperatur Permukaan (°C)	ΔT (°C)	Convection Value (W/m ² K)
Tanpa Heatsink	12.81				12.81			
10	15.05	16.97	1.92	20.51	14.84	16.64	1.80	17.76
12	15.49	17.08	1.59		15.24	16.73	1.49	
14	15.79	17.39	1.60		15.53	17.02	1.49	

Lampiran C2 Hasil Simulasi Termoelektrik dengan Menggunakan Heatsink

Jumlah Fin	0,5 m/s			0,25 m/s				
	Temperatur Base (°C)	Temperatur Permukaan (°C)	ΔT (°C)	Convection Value (W/m ² K)	Temperatur Base (°C)	Temperatur Permukaan (°C)	ΔT (°C)	Convection Value (W/m ² K)
Tanpa Heatsink	12.81				12.81			
10.00	14.57	16.19	1.62		14.17	15.52	1.35	
12.00	14.92	16.26	1.34	14.45	14.43	15.60	1.17	10.26
14.00	15.18	16.53	1.35		14.64	15.78	1.14	

Lampiran D Hasil Simulasi *Medical Coolbox*

Time (s)	0,25 m/s	0.5 m/s	0.75 m/s	1 m/s
	Temperatur Dinding (°C)			
0	25	25	25	25
50	19.69	18.75	18.62	18.46
100	18.56	17.62	17.51	17.78
500	17.36	17.29	17.44	17.61
1000	17.29	17.23	17.39	17.56
1500	17.34	17.17	17.34	17.51
2000	17.23	17.12	17.29	17.47
2500	17.11	17.08	17.25	17.44

Time (s)	0,25 m/s	0.5 m/s	0.75 m/s	1 m/s
	Temperatur Udara Bebas (°C)			
0	25.00	25.00	25.00	25.00
50	16.72	16.94	17.28	17.50
100	16.29	16.79	17.22	17.46
500	17.06	17.17	17.39	17.39
1000	17.00	17.11	17.32	17.59
1500	16.93	17.05	17.26	17.47
2000	16.86	16.98	17.20	17.41
2500	16.80	16.93	17.15	17.37

Time (s)	0,25 m/s	0.5 m/s	0.75 m/s	1 m/s
	Temperatur Insulin (°C)			
0	25	25	25	25
50	24.56	24.37	24.25	24.16
100	24.29	24.02	23.85	23.72
500	23.23	22.64	22.29	22.06
1000	22.37	21.6	21.19	20.94
1500	21.7	20.84	20.42	20.18
2000	21.14	20.25	19.84	19.62
2500	20.67	19.77	19.38	19.2

Lampiran E Menghitung Nilai Koefisien Konveksi pada Heatsink

Nilai-nilai seperti k , ν dan Pr diperoleh berdasarkan temperatur *film* yang merupakan rata-rata temperatur pelat *heatsink* dan temperatur udara yakni $\frac{(25+12,8)}{2} = 18,9^{\circ}C$. Sehingga nilai-nilai tersebut dengan menggunakan tabel 2.2, dimana pada temperatur $18,9^{\circ}C$ diperoleh nilai,

$$k = 0,0258411 \text{ W/m K}$$

$$Pr = 0,7032194$$

$$\nu = 14,961 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Sehingga,

Pada kecepatan udara (u) = 1 m/s

$$Re = \frac{(u \times L)}{\nu} = \frac{(1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,037\text{m})}{14,961 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 2473,06$$

$$h = 0.664 \times \frac{k}{L} Re^{0,5} Pr^{0,333}$$
$$= 0.664 \times \frac{0,0258733 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{0,037 \text{ m}} 2473,06^{0,5} 0,703219^{0,333} = 20,51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Pada kecepatan udara (u) = 0,75 m/s

$$Re = \frac{(u \times L)}{\nu} = \frac{(0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,037\text{m})}{14,961 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1854,79$$

$$h = 0.664 \times \frac{k}{L} Re^{0,5} Pr^{0,333}$$
$$= 0.664 \times \frac{0,0258733 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{0,037 \text{ m}} 1854,79^{0,5} 0,703219^{0,333} = 17,76 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

E-2

Pada kecepatan udara (u) = 0,5 m/s

$$Re = \frac{(u \times L)}{v} = \frac{(0,5 \frac{m}{s} \times 0,037m)}{14,961 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 1236,53$$

$$h = 0.664 \times \frac{k}{L} Re^{0,5} Pr^{0,333}$$

$$= 0.664 \times \frac{0,0258733 \frac{W}{mK}}{0,037 m} 1236,53^{0,5} 0,703129^{0,333} = 14,5 \frac{W}{m^2K}$$

Pada kecepatan udara (u) = 0,25 m/s

$$Re = \frac{(u \times L)}{v} = \frac{(0,25 \frac{m}{s} \times 0,037m)}{14,961 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 618,26$$

$$h = 0.664 \times \frac{k}{L} Re^{0,5} Pr^{0,333}$$

$$= 0.664 \times \frac{0,0258733 \frac{W}{mK}}{0,037 m} 618,26^{0,5} 0,703129^{0,333} = 10,255 \frac{W}{m^2K}$$

Lampiran F Perhitungan Efisiensi Sistem

Kecepatan (m/s)	Q Dinding (W)	Q Udara (W)	Produk (W)	Aluminium (W)	Total (W)	P in (W)	COP actual	Tc	Th	COP carnot	Efisiensi (%)
0.25 (10 Fin)	3.97	0.02	2.12	0.38	6.49	157	0.04122	15.52	32	0.94175	4.4
0.5 (10 Fin)	3.98	0.02	2.56	0.36	6.92	158	0.04392	16.19	32	1.02404	4.3
0.75 (10 Fin)	3.89	0.02	2.75	0.34	7	158	0.04439	16.64	32	1.08333	4.1
1 (10 Fin)	3.8	0.02	2.83	0.32	6.97	158	0.04415	16.97	32	1.12908	3.9
1 (12 Fin)	3.75	0.02	2.78	0.32	6.87	157	0.04369	17.08	32	1.14477	3.8
1 (14 Fin)	3.6	0.02	2.69	0.31	6.62	157	0.04214	17.39	32	1.19028	3.5

BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 7 Mei 1995 di Tangerang, Banten. Penulis menempuh pendidikan di SDN Poris Gaga III, Tangerang (2001-2004), SDN Gondanglegi Wetan 01, Malang (2004-2007), SMPN 1 Pagelaran, Malang (2007-2010) dan SMAN 1 Manonjaya, Tasikmalaya (2010-2013). Penulis melanjutkan studinya di Diploma III, Politeknik Negeri Bandung, Departemen Refrigerasi dan Tata Udara. Selanjutnya melanjutkan studi Sarjana di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil penulis adalah rekayasa energi dan pengkondisian lingkungan. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi anggota *ASHRAE Student Branch* Politeknik Negeri Bandung dan juga memiliki pengalaman bekerja selama hampir 8 bulan (Desember 2016-Agustus 2017) di kontraktor HVAC dan Ducting di CV. Cakra Linjaya, Bandung. Selanjutnya pernah melaksanakan kerja praktik di Perusahaan Gas Negara (PGN) di Jakarta selama 2 bulan (Juli-Agustus 2018). Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* giffari.muslih07@gmail.com.