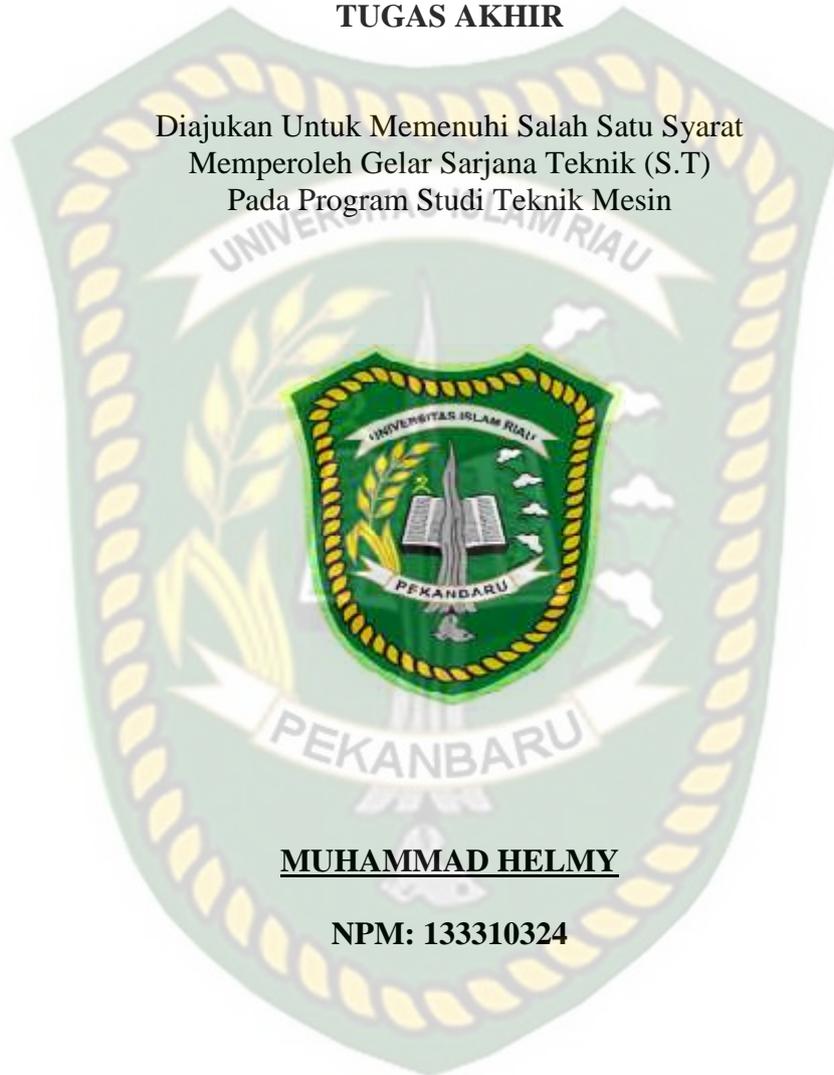


**RANCANG BANGUN DAN ANALISA TERMAL *SHOWCASE MINI*
SEBAGAI ALAT PENDINGIN MINUMAN MENGGUNAKAN MODUL
TERMOELEKTRIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)
Pada Program Studi Teknik Mesin



MUHAMMAD HELMY

NPM: 133310324

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

RANCANG BANGUN DAN ANALISA TERMAL *SHOWCASE MINI* SEBAGAI ALAT PENDINGIN MINUMAN MENGGUNAKAN MODUL TERMoeLEKTRIK

Muhammad Helmy, Eddy Elfiano

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru.

Telp 0761-674635 fax (0761) 674834

Email : helmy696@gmail.com

ABSTRAK

Di Indonesia yang beriklim tropis memang dibutuhkan alat pendingin minuman. Hampir di setiap rumah, kantor, perusahaan, swalayan, dan mall yang memasang alat pendingin minuman. Ini memang sudah menjadi kebutuhan utama bagi masyarakat yang tinggal dinegara beriklim tropis. Apalagi yang tinggal di daerah wilayah Indonesia bagian timur seperti Ambon, NTT, dan Papua yang memiliki suhu yang sangat panas. Ada berbagai macam jenis penggunaan modul termoelektrik atau *peltier* antara lain pendingin makanan, pendingin obat-obatan, pendingin air minum pada dispenser, dan pendingin prosesor komputer. Selain mudah dalam pengaplikasiannya, dengan alat ini diharapkan mampu membuka gagasan dalam penggunaan modul termoelektrik yang lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan refrigran. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan ukuran pada rancangan *showcase mini*, proses perakitan alat *showcase mini*, dan mendapatkan hasil analisa termal yang terdapat pada alat *showcase mini* sebagai media pendingin. *Showcase* adalah lemari pendingin yang digunakan untuk menampilkan makanan atau minuman yang ingin ditampilkan menggunakan media kaca sebagai penonjol produk yang ditampilkan. Teknologi termoelektrik adalah teknologi yang bekerja dengan mengkonversikan energi panas menjadi energi listrik secara langsung atau sebaliknya, dari energi listrik menghasilkan energi dingin. Termoelektrik terbuat dari *solid state material* (material zat padat) yang dapat mengkonversikan energi dari perbedaan temperatur ke beda potensial atau sebaliknya. Pada penelitian ini, digunakan 2 variasi beban pendingin yaitu tanpa beban pendingin dan dengan beban pendingin. Analisa termal dilakukan dan mendapatkan hasil. Hasil tertinggi dari perhitungan beban perpindahan panas konduksi tanpa beban pendingin adalah 0,013 Watt. Hasil tertinggi dari perhitungan beban perpindahan panas konduksi dengan beban pendingin adalah 0,010 Watt. Hasil tertinggi dari perhitungan beban kalor produk adalah 1,555 Watt. Hasil tertinggi dari perhitungan COP (*Coefficient Of Performance*) adalah 4,823. Biaya pengeluaran (*cost*) yang dikeluarkan disetiap bulan adalah sebesar 16000 rupiah.

Kata Kunci: *Showcase*, Termoelektrik, Analisa Termal

**DESIGN AND ANALYSIS OF THERMAL SHOWCASE MINI AS A
BEVERAGE COOLER USING A THERMOELECTRIC MODULE**

Muhammad Helmy, Eddy Elfiano

*Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic
University of Riau*

Kaharudin Nasution Street Km 11 No 113 Marpoyan Stop, Pekanbaru.

Phone 0761-674635 fax (0761) 674834

Email : helmy696@gmail.com

ABSTRACT

In Indonesia, which has a tropical climate, a beverage cooler is needed. Almost every home, office, company, supermarket, and mall has installed beverage coolers. This has become a major necessity for people living in tropical countries. Especially those who live in eastern Indonesia, such as Ambon, NTT, and Papua, which have very hot temperatures. There are various types of use of the thermoelectric or peltier module, including food coolers, medicinal coolers, drinking water coolers in dispensers, and computer processor coolers. Besides being easy to apply, this tool is expected to be able to open up ideas in the use of thermoelectric modules that are more environmentally friendly than refrigerants. This research was conducted to obtain the size of the showcase mini design, the assembly process of the showcase mini tool, and to obtain the thermal analysis results contained in the showcase mini tool as a cooling medium. Showcase is a refrigerator that is used to display food or drinks that you want to display using glass media as a standout for the product being displayed. Thermoelectric technology is a technology that works by converting heat energy into electrical energy directly or vice versa, from electrical energy to produce cold energy. Thermoelectric is made of solid state material (solid material) which can convert energy from temperature difference to potential difference or vice versa. In this study, 2 variations of cooling load were used, namely without cooling load and with cooling load. Thermal analysis was carried out and got the results. The highest result from the calculation of conduction heat transfer load without cooling load is 0.013 Watt. The highest result from the calculation of the conduction heat transfer load with the cooling load is 0.010 Watt. The highest result from calculating the product heat load is 1.555 Watts. The highest result from the calculation of COP (Coefficient Of Performance) is 4,823. The expenses incurred each month are 16,000 rupiah.

Keywords: *Showcase, Thermoelectric, Thermal Analysis*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “RANCANG BANGUN DAN ANALISA TERMAL *SHOWCASE MINI* SEBAGAI ALAT PENDINGIN MINUMAN MENGGUNAKAN MODUL TERMOELEKTRIK”. Sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.

Tugas akhir ini merupakan salah satu tugas yang harus diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana strata satu (S-1). Tugas akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa bimbingan, doa-doa serta dukungan-dukungan yang tak terhingga yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Muslim, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang telah memberi izin kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang juga telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Eddy Elfiano, S.T., M.Eng selaku Pembimbing tugas akhir di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan petunjuk dan pengarahan dalam penyusunan tugas akhir ini.

4. Terima kasih juga kepada seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin serta seluruh staf karyawan Fakultas Teknik yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Terima Kasih kepada Ayahanda Agustiar W, Ibunda Aslah dan Adinda Muhammad Khairy serta Hanna Humaira yang selalu mendukung dengan sabar dan penuh dengan kasih sayang kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Terima kasih kepada seluruh teman-teman seperjuangan mesin angkatan 2013 yang selalu menjadi teman terbaik. Terima kasih juga kepada seluruh adik-adik mesin yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Terima kasih kepada sahabat yang selalu menanyakan kapan saya wisuda. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kalian. Terima kasih atas dorongan dan doa-doa yang kalian berikan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan kemanfaatan bagi pembaca dan dapat mencapai tujuan yang diharapkan dari adanya penelitian yang akan dilakukan.

Pekanbaru, September 2020

Penulis

Muhammad Helmy

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 <i>Showcase Mini</i>	5
2.2 Sistem Pendinginan.....	8
2.3 Perpindahan Panas.....	9
2.4 Sejarah Termoelektrik.....	13
2.5 Termoelektrik.....	14
2.6 Efek Termoelektrik.....	15

2.7	Modul Termoelektrik.....	17
2.8	Cara Kerja Termoelektrik.....	18
2.9	Beban Pendinginan.....	21
2.10	Daya <i>Input</i>	24
2.11	COP (<i>Coefficient Of Performance</i>).....	24
2.12	Biaya Pengeluaran (<i>Cost</i>).....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
3.3	Skema Rancangan.....	28
3.4	Alat dan Bahan.....	29
3.5	Perakitan Alat Penelitian.....	43
3.6	Prosedur Pengujian Alat Penelitian.....	49
3.7	Jadwal Kegiatan Penelitian.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Spesifikasi Alat Penelitian.....	53
4.2	Data Hasil Penelitian.....	56
4.3	Analisa Termal.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran.....	70

LAMPIRAN



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konduktivitas Termal Beberapa Bahan (k).....	11
Tabel 2.2. Tarif Tenaga Listrik Untuk Keperluan Rumah Tangga	25
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian	52
Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Tanpa Beban Pendingin.....	56
Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Dengan Beban Pendingin	57
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Beban Perpindahan Panas Konduksi	61
Tabel 4.4. Nilai Massa Jenis Air dan Panas Jenis Air	62
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Beban Kalor Produk	63
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan COP (<i>Coefficient Of Performance</i>)	66
Tabel 4.7. Spesifikasi Komponen Modul Pendingin.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Showacase Mini</i>	5
Gambar 2.2. <i>Curve Glass Door</i>	6
Gambar 2.3. <i>Salad Cooler</i>	7
Gambar 2.4. Perpindahan Panas	10
Gambar 2.5. Perpindahan Panas Konduksi	11
Gambar 2.6. Konveksi Paksa	12
Gambar 2.7. Konveksi Alami	13
Gambar 2.8. Termoelektrik	14
Gambar 2.9. Efek <i>Seebeck</i>	15
Gambar 2.10. Efek <i>Peltier</i>	16
Gambar 2.11. Skematik dari Pendingin Termoelektrik	17
Gambar 2.12. Aliran Panas Untuk Jenis P Efek <i>Peltier</i>	18
Gambar 2.13. Aliran Panas Untuk Jenis N Efek <i>Peltier</i>	19
Gambar 2.14. Aliran Panas Untuk Beberapa Jenis N Terhubung Paralel	19
Gambar 2.15. Aliran Panas Untuk Beberapa Jenis N Terhubung Seri	20
Gambar 2.16. Aliran Panas Pada Gabungan Jenis P dan N dari Efek <i>Peltier</i>	20
Gambar 2.17. Aliran Panas Pada Gabungan Beberapa Jenis P dan N dari Efek <i>Peltier</i>	20

Gambar 2.18. Konfigurasi Beberapa Susunan Jenis P dan N dari Sistem Pendingin dengan Efek <i>Peltier</i>	21
Gambar 2.19. Skema Beban Perpindahan Panas Konduksi	22
Gambar 2.20. Skema Beban Panas Produk	23
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2. Skema Rancangan <i>Showcase Mini</i>	28
Gambar 3.3. Skema Susunan Modul Pendingin	29
Gambar 3.4. Skema Rangkaian Kelistrikan <i>Showcase Mini</i>	29
Gambar 3.5. <i>Cutter</i>	30
Gambar 3.6. Gergaji	30
Gambar 3.7. Tang	30
Gambar 3.8. Obeng	31
Gambar 3.9. Lem <i>Sealant</i>	31
Gambar 3.10. <i>Double Tape</i>	31
Gambar 3.11. <i>Thermal Paste</i>	32
Gambar 3.12. <i>Heat Tube</i>	32
Gambar 3.13. Lakban Hitam	32
Gambar 3.14. Baut dan Mur	33
Gambar 3.15. Bor Tangan	33

Gambar 3.16. Amplas	33
Gambar 3.17. Lem Korea	34
Gambar 3.18. Kabel <i>Ties</i>	34
Gambar 3.19. <i>Stopwacth</i>	34
Gambar 3.20. <i>Thermocouple</i>	35
Gambar 3.21. Termometer.....	35
Gambar 3.22. Multimeter	35
Gambar 3.23. <i>Styrofoam</i>	36
Gambar 3.24. <i>Multyplex</i>	36
Gambar 3.25. <i>Aluminium Foil Tape</i>	37
Gambar 3.26. Termoelektrik TEC.....	37
Gambar 3.27. Termostat	38
Gambar 3.28. Kipas DC	38
Gambar 3.29. <i>Coldsink</i>	38
Gambar 3.30. <i>Heatsink</i>	39
Gambar 3.31. Kabel Listrik	39
Gambar 3.32. Soket Kabel Listrik.....	39
Gambar 3.33. <i>Power Plug</i> AC dan DC	40
Gambar 3.34. Sekring	40

Gambar 3.35. <i>Power Supply / Catu Daya</i>	40
Gambar 3.36. <i>Akrilik</i>	41
Gambar 3.37. <i>Engsel</i>	41
Gambar 3.38. <i>Gagang Lemari</i>	41
Gambar 3.39. <i>Aluminium Siku</i>	42
Gambar 3.40. <i>Kunci Tic-Tac</i>	42
Gambar 3.41. <i>Minuman Kaleng</i>	42
Gambar 3.42. <i>Casing Showcase Mini</i>	43
Gambar 3.43. <i>Kotak Styrofoam</i>	44
Gambar 3.44. <i>Aluminium Foil Pada Kotak Styrofoam</i>	44
Gambar 3.45. <i>Penyatuan Kotak Styrofoam dengan Casing Showcase Mini ..</i>	45
Gambar 3.46. <i>Modul Pendingin</i>	46
Gambar 3.47. <i>Posisi Coldsink Pada Kotak Styrofoam</i>	46
Gambar 3.48. <i>Rangkaian Kelistrikan</i>	47
Gambar 3.49. <i>Penutup Showcase Mini</i>	48
Gambar 3.50. <i>Showcase Mini</i>	49
Gambar 4.1. <i>Spesifikasi Ukuran Showcase Mini</i>	53
Gambar 4.2. <i>Spesifikasi Komponen Showcase Mini</i>	54
Gambar 4.3. <i>Spesifikasi Komponen Modul Pendingin</i>	55

Gambar 4.4. Diagram Hasil Perhitungan Beban Perpindahan Panas Konduksi 61

Gambar 4.5. Diagram Hasil Perhitungan Beban Kalor Produk..... 64

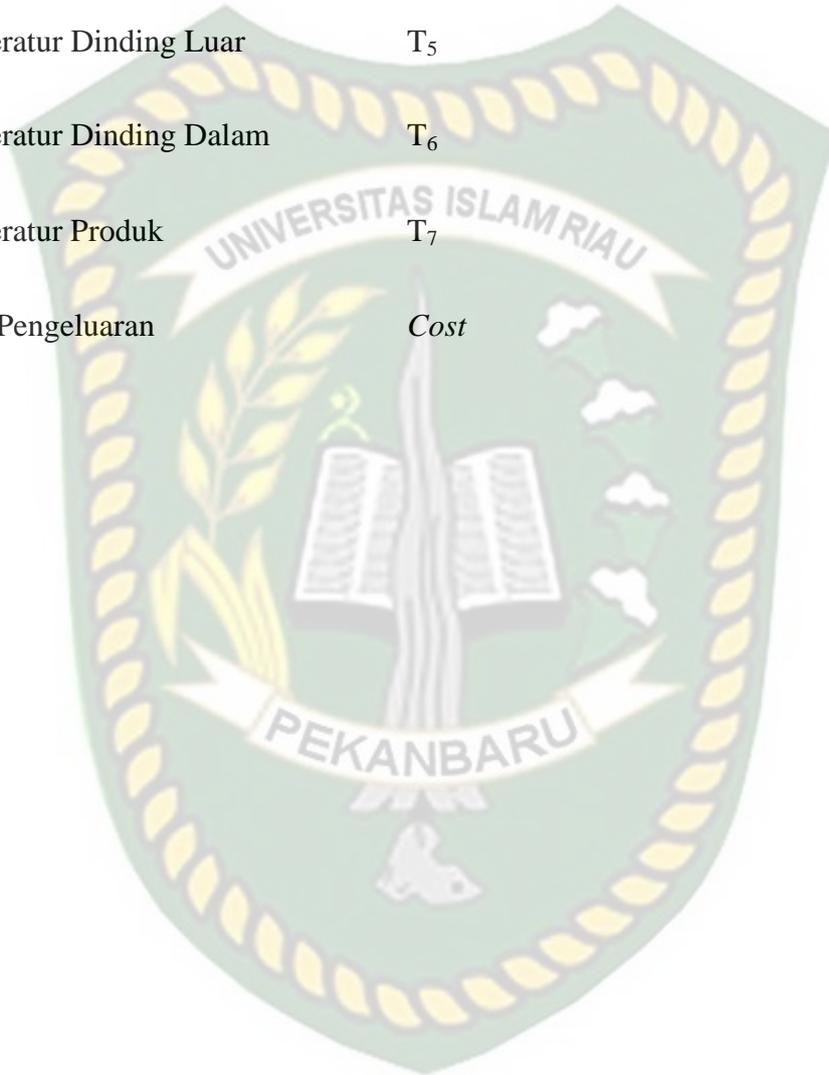
Gambar 4.6. Diagram Hasil Perhitungan COP (*Coefficient Of Performance*) 67



DAFTAR NOTASI

Keterangan	Simbol	Satuan
Beban Perpindahan Konduksi	Q_{konduksi}	Watt
Perbedaan Temperatur	ΔT	K
Hambatan Termal	R	K/W
Tebal Material	L	m
Konduktivitas Termal	k	W/m.K
Luas Permukaan	A	m ²
Beban Kalor Produk	Q_{produk}	Watt
Massa Produk	m	kg
Panas Jenis dari Produk	c_p	kJ/kg.K
Durasi	Δt	s
Densitas	ρ	kg/m ³
Volume Produk	v	m ³
Daya <i>Input</i>	P_{in}	Watt
Tegangan Listrik	V	Volt
Arus Listrik	I	Ampere
<i>Coefficient Of Performance</i>	COP	
Temperatur Lingkungan	T_1	°C

Temperatur Ruang Pendingin	T_2	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur <i>Coldsink</i>	T_3	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur <i>Heatsink</i>	T_4	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur Dinding Luar	T_5	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur Dinding Dalam	T_6	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur Produk	T_7	$^{\circ}\text{C}$
Biaya Pengeluaran	<i>Cost</i>	Rupiah



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di saat perkembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan teknologi yang begitu pesat, banyak ilmuwan serta Lembaga dalam bidang teknologi berlomba-lomba dalam menghasilkan suatu alat untuk menjadikan kehidupan yang nyaman, praktis, dan ramah lingkungan. Manusia selalu berusaha untuk menciptakan suatu alat yang dapat dipakai dan memberikan hasil yang maksimal namun mudah dalam pengaplikasiannya. Salah satu alat yang mudah dalam pengaplikasiannya adalah modul termoelektrik yang biasa disebut *peltier*. Penggunaan *peltier* atau modul termoelektrik juga lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan mesin siklus kompresi uap karena tidak menggunakan refrigeran. Maka dilakukan kajian tentang rancang bangun dan analisa termal *showcase mini* sebagai alat pendingin minuman menggunakan modul termoelektrik. Untuk *peltier* ini membutuhkan listrik DC untuk menghasilkan efek panas dan dingin di kedua sisi elemen *peltier* atau modul termoelektrik. Yang akan kita gunakan dalam penelitian ini adalah sisi dinginnya.

Di Indonesia yang beriklim tropis memang dibutuhkan alat pendingin makanan dan minuman. Hampir di setiap rumah, kantor, perusahaan, swalayan, dan mall yang memasang alat pendingin minuman. Ini memang sudah menjadi kebutuhan utama bagi masyarakat yang tinggal dinegara beriklim tropis. Apa lagi yang tinggal di daerah wilayah Indonesia bagian timur seperti Ambon, NTT, dan Papua yang memiliki suhu yang sangat panas.

Ada berbagai macam jenis penggunaan modul termoelektrik atau *peltier* antara lain pendingin makanan, pendingin obat-obatan, pendingin air minum pada dispenser, dan pendingin prosesor komputer. Selain mudah dalam pengaplikasiannya, dengan alat ini diharapkan mampu membuka gagasan dalam penggunaan modul termoelektrik yang lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan refrigran.

Oleh sebab itu, dibutuhkan rancang bangun dan analisa termal alat pendingin minuman menggunakan modul termoelektrik yang nantinya dapat dihasilkan koefisien perpindahan panas yang baik. Dari keadaan tersebut, menunjukkan pentingnya penelitian ini perlu dilakukan, mengingat pentingnya penggunaan modul termoelektrik di masa kini. Maka peneliti sangat tertarik meneliti lebih lanjut tentang penggunaan modul termoelektrik dalam peralatan pendingin (Zacharias, 2013).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang *showcase mini* sebagai media pendingin?
2. Bagaimana membangun *showcase mini* sebagai media pendingin?
3. Bagaimana menganalisa termal pada *showcase mini* serta waktu pencapaian temperatur yang diinginkan?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mendapatkan ukuran-ukuran pada *showcase mini* sebagai media pendingin.
2. Untuk mendapatkan prototipe atau produk *showcase mini* sebagai media pendingin.
3. Untuk mendapatkan analisa termal pada *showcase mini* serta waktu pencapaian temperatur yang diinginkan.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menganalisis masalah tulisan ini, maka perlu diambil batasan masalah yang meliputi :

- Perancangan *showcase mini*.
- Sistem pendinginan dengan menggunakan efek termoelektrik.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai media untuk mendinginkan minuman.
2. Menjadi salah satu alternatif dalam pengaplikasian sistem pendinginan yang ramah lingkungan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini dikelompokkan kedalam beberapa bab yaitu :

BAB I : Berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang perancangan, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : Menjelaskan tinjauan pustaka yang memaparkan tentang teori-teori komponen *showcase mini*.

BAB III : Metodologi Penelitian berisi tempat dan waktu penelitian, skema rancangan, alat dan bahan, prosedur perakitan dan prosedur pengujian alat penelitian.

BAB IV : Hasil dan pembahasan berisikan tentang hasil penelitian, hasil pembahasan data penelitian.

BAB V : Kesimpulan dan Saran berisi simpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dapat mendukung pengembangan dalam penelitian selanjutnya.

Bagian akhir tugas akhir berisi tentang daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang mendukung penjelasan di dalam pembahasan.

BAB II DASAR TEORI

2.1. *Showcase Mini*

Showcase adalah perpaduan dari dua kata yaitu *show* dan *coldcase*. *Show* adalah menampilkan, sedangkan *coldcase* adalah lemari pendingin. Jadi *showcase* adalah lemari pendingin yang digunakan untuk menampilkan makanan atau minuman yang ingin ditampilkan menggunakan media kaca sebagai penonjol produk yang ditampilkan. Banyak jenis dari *showcase* yang ada dilingkungan sekitar kita. Hampir disetiap tempat usaha menggunakan *showcase* seperti restoran, toko kue, warung, swalayan, dan masih banyak lagi (Derry, 2016).

Showcase mempunyai beberapa tipe dalam menampilkan produk, tergantung dari apa yang akan ditampilkannya. Ini adalah beberapa tipe *showcase* sesuai dengan kegunaannya.

2.1.1. *Showcase Cooler*



Gambar 2.1. *Showcase Cooler*

(Derry, 2016)

Showcase ini biasa digunakan untuk menyimpan minuman dan makanan ringan. Tipe ini banyak ditemukan di toko swalayan dan toko biasa untuk menampilkan minuman kaleng, pudding, dll (Derry, 2016).

2.1.2. *Curve Glass Door*



Gambar 2.2. *Curve Glass Door*
(Derry, 2016)

Showcase tipe ini biasanya menyajikan eskrim, karena lebih menarik ketimbang tipe *showcase cooler*. *Showcase* tipe ini sering kita jumpai di supermarket. Selain menampilkan eskrim, *showcase* ini juga menampilkan nugget, sosis, bakso, dan makanan beku lainnya (Derry, 2016).

2.1.3. Salad Cooler



Gambar 2.3. Salad Cooler
(Derry, 2016)

Showcase ini memiliki keunggulannya sendiri dikarenakan memiliki dua fungsi. Yang dimana bagian atas menampilkan *salad* atau sayur-sayuran, sedangkan yang dibawah menampilkan *sushi* atau jenis *seafood* lainnya. *Showcase* ini biasa dijumpai di restoran *seafood* dan sejenisnya (Derry, 2016).

Masih banyak tipe-tipe dari *showcase* serta kegunaannya yang belum dijelaskan. Peneliti hanya menjelaskan beberapa tipe yang sering digunakan saja. Fokus dalam rancang bangun ini adalah *showcase mini*. Yang dimana *showcase* yang berukuran kecil atau minimalis. Mengingat kegunaannya sebagai pendingin minuman *portable*.

2.2. Sistem Pendinginan

Sistem pendinginan adalah suatu sistem yang berfungsi menjaga agar temperatur dalam kondisi ideal. Sistem pendinginan juga disebut dengan sistem refrigrasi. Refrigrasi adalah proses pengambilan kalor dari ruang atau benda untuk menurunkan temperaturnya. Kalor adalah salah satu bentuk dari energi, sehingga mengambil kalor suatu benda sama dengan mengambil sebagian energi dari molekul-molekulnya. metode pengkondisian temperatur ruangan agar tetap berada dibawah temperatur lingkungan adalah metode dari refrigrasi, sehingga metode refrigrasi sama dengan metode pendinginan (Nugroho, 2016).

Refrigrasi adalah suatu penggunaan yang luas dari termodinamika. Refrigrasi adalah produksi dan pemeliharaan temperatur dari suatu benda atau ruangan pada tingkat yang lebih rendah dari pada temperatur lingkungan sekitarnya dengan cara penyerapan kalor dari suatu benda atau ruangan tersebut. Refrigrasi dapat dikatakan juga dengan proses pemindahan kalor dari suatu benda atau ruangan ke suatu benda atau ruangan lainnya (Purwanto dan Kemal, 2014).

Sistem refrigrasi pada dasarnya dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Sistem refrigrasi mekanik
2. Sistem refrigrasi non mekanik

1.2.1. Sistem Refrigrasi Mekanik

Sistem refrigrasi ini menggunakan mesin-mesin penggerak dan alat mekanik lain dalam menjalankan siklusnya. Yang termasuk dalam sistem refrigrasi mekanik di antaranya adalah:

1. Siklus Kompresi Uap (SKU)

2. Refrigrasi siklus udara
3. Kriogenik atau refrigrasi temperatur ultra rendah
4. Siklus Sterling

1.2.2. Sistem Refrigrasi Non Mekanik

Berbeda dengan sistem refrigrasi mekanik, sistem ini tidak memerlukan mesin-mesin penggerak seperti kompresor dalam menjalankan siklusnya. Yang termasuk dalam sistem refrigrasi non mekanik di antaranya:

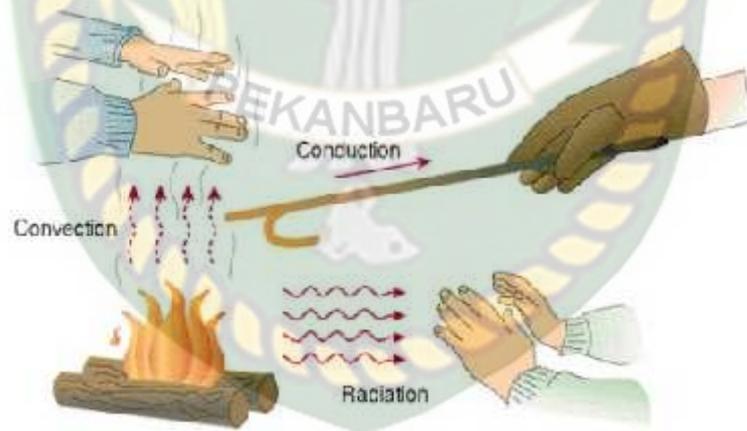
1. Refrigrasi Termoelektrik
2. Refrigrasi Siklus absorpsi
3. Refrigrasi *steam jet*
4. Refrigrasi magnetik
5. *Heat pipe*

2.3. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda dan material. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramal laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Panas telah diketahui dapat berpindah dari tempat dengan temperatur yang lebih tinggi ke tempat dengan temperatur lebih rendah. Hukum percampuran panas juga terjadi karena panas itu berpindah, sedangkan pada kalorimeter, perpindahan panas dapat terjadi dalam bentuk pertukaran panas dengan luar sistem. Jadi pemberian atau

pengurangan panas tidak saja mengubah temperatur atau fasa zat suatu benda secara lokal, melainkan panas itu merambat ke bagian lain atau tempat lain. Peristiwa ini disebut dengan perpindahan panas. Menurut penyelidikan, perpindahan tenaga panas dapat dibagi dalam beberapa golongan cara perpindahan. Panas itu dapat merambat dari suatu bagian ke bagian lain melalui zat atau benda yang diam. Panas juga dibawah partikel-partikel zat mengalir. Pada radiasi panas, tenaga panas berpindah melalui pancaran yang merupakan juga satu cara perpindahan panas (Tulak, 2013).

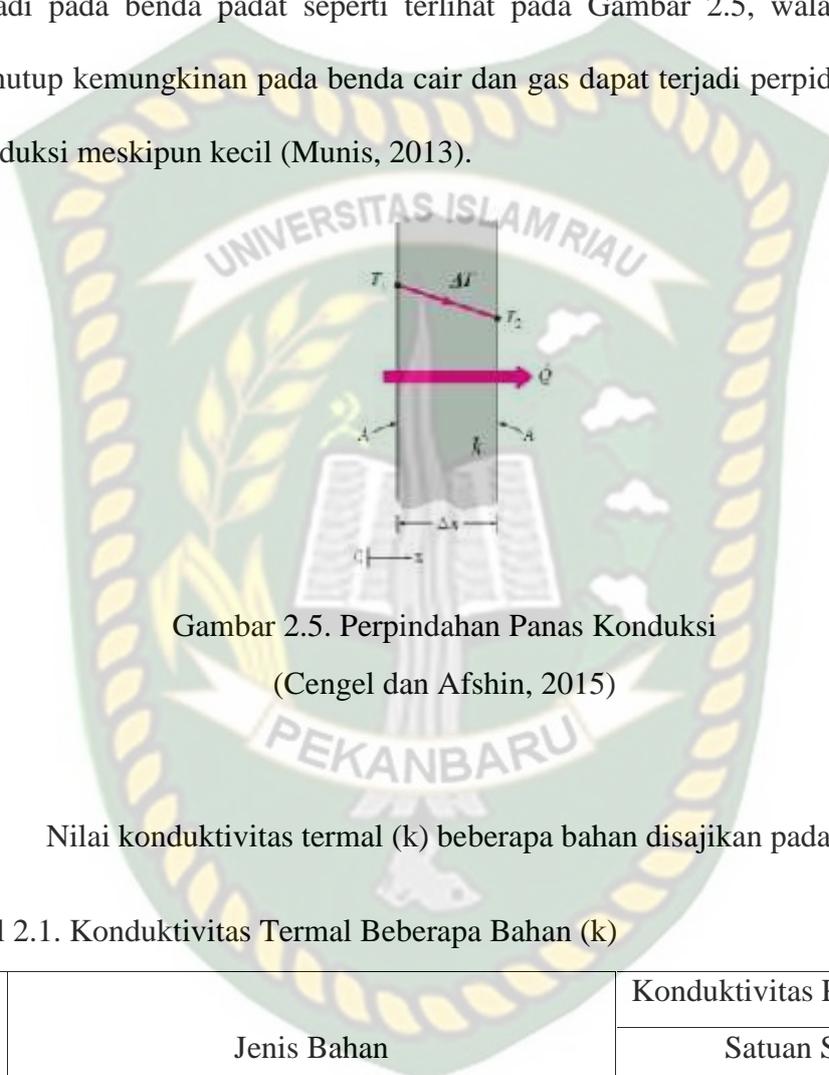
Umumnya perpindahan panas berlangsung sekaligus dengan ketiga caraini. Perpindahan panas melalui cara pertama yang disebut perpindahan panas melalui konduksi. Cara kedua, perpindahan panas melalui konveksi dan cara ketiga melalui radiasi. Ilustrasi ditunjukkan ada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Perpindahan Panas
(Cengel dan Afshin, 2015)

2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi yaitu perpindahan energi panas tanpa terjadi perpindahan pada media perambatan panas tersebut dan umumnya terjadi pada benda padat seperti terlihat pada Gambar 2.5, walaupun tidak menutup kemungkinan pada benda cair dan gas dapat terjadi perpindahan panas konduksi meskipun kecil (Munis, 2013).



Gambar 2.5. Perpindahan Panas Konduksi
(Cengel dan Afshin, 2015)

Nilai konduktivitas termal (k) beberapa bahan disajikan pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1. Konduktivitas Termal Beberapa Bahan (k)

No	Jenis Bahan	Konduktivitas Panas (k)
		Satuan SI
		W/m.K
1	<i>Multyplex (soft wood)</i>	0,115
2	<i>Styrofoam (polystyrene)</i>	0,040
3	<i>Aluminium Foil Tape (reflective insulation)</i>	0,000017
4	<i>Akrilik (plexiglass)</i>	0,19

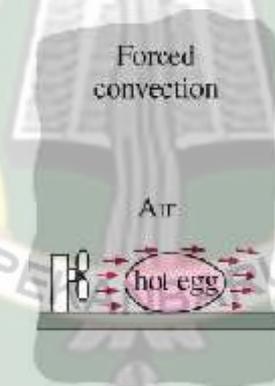
(Cengel dan Afshin, 2015)

2.3.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi tidak dapat terjadi pada benda padat, karena proses perpindahan panas konveksi hanya terjadi pada fluida baik zat cair maupun gas yang disertai dengan perpindahan zat perantaranya (Setyadi, 2014).

Ada dua jenis perpindahan panas konveksi, yaitu:

1. Konveksi paksa, perpindahan panas ini terjadi karena adanya alat tambahan yang digunakan untuk mengalirkan fluida seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Koveksi Paksa
(Cengel dan Afshin, 2015)

2. Konveksi alami, perpindahan panas ini terjadi karena adanya perbedaan suhu yang menyebabkan perbedaan kerapatan massa. Jadi konveksi ini terjadi secara alami dan tidak menggunakan bantuan alat untuk mengalirkan fluida. Ilustrasi seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Konveksi Alami
(Cengel dan Afshin, 2015)

2.4. Sejarah Termoelektrik

Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Jerman bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian, dimana di antara kedua logam tersebut diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas tersebut bergerak. Belakangan diketahui, hal ini terjadi karena adanya aliran listrik pada logam yang menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas tersebut. Fenomena ini kemudian dikenal dengan efek *seebeck* (Selviana, 2017).

Penemuan *seebeck* ini memberikan inspirasi kepada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Arus listrik searah dialirkan pada suatu rangkaian tertutup yang terdiri dari sambungan dua material logam. Pada sambungan ini, salah satu sisi melepaskan panas sedangkan sisi yang lain menyerap panas, dan sebaliknya bila arus dibalik. Fenomena ini dikenal sebagai efek *peltier* (Selviana, 2017).

2.5. Termoelektrik

Teknologi termoelektrik adalah teknologi yang bekerja dengan mengkonversikan energi panas menjadi energi listrik secara langsung atau sebaliknya, dari energi listrik menghasilkan energi dingin. Termoelektrik terbuat dari *solid state material* (material zat padat) yang dapat mengkonversikan energi dari perbedaan temperatur ke beda potensial atau sebaliknya. Pada skala atom, perbedaan temperatur menyebabkan muatan pembawa berdifusi dari permukaan panas menuju ke permukaan dingin (Tulak, 2013).



Gambar 2.8. Termoelektrik
(Aziz dkk, 2015)

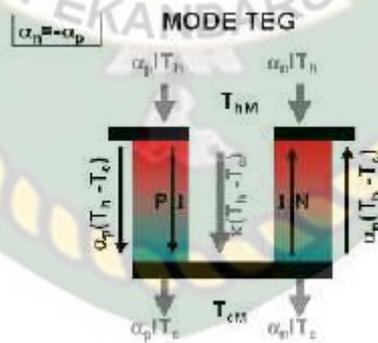
Teknologi termoelektrik yang banyak beredar dipasaran ada dua jenis, yaitu tipe TEG (*Thermo Electric Generator*) yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan aliran panas dan tipe TEC (*Thermo Electric Cooler*) yang digunakan untuk pendinginan. Prinsip kerja termoelektrik tipe TEG dan TEC sama yang membedakan adalah bahan atau material yang digunakan. Termoelektrik tipe TEG menggunakan material PbTe dan SiGe, sedangkan termoelektrik tipe TEC menggunakan material Bi^2Te^3 , PbSe, dan SiGe (Setyadi, 2014).

2.6. Efek Termoelektrik

Efek termoelektrik merupakan proses konversi energi langsung akibat perbedaan temperatur atau setelah diberi tegangan listrik. Perbedaan temperatur akan dihasilkan jika termoelektrik diberikan tegangan listrik, dan sebaliknya tegangan listrik akan dihasilkan oleh termolektrik jika kedua sisi permukaan memiliki temperatur yang berbeda (Ihza dkk, 2016).

2.6.1. Efek Seebeck

Efek *seebeck* merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda material kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu *loop*. Jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambungan ini, maka akan menimbulkan aliran arus listrik. prinsip inilah yang digunakan termoelektrik sebagai generator.



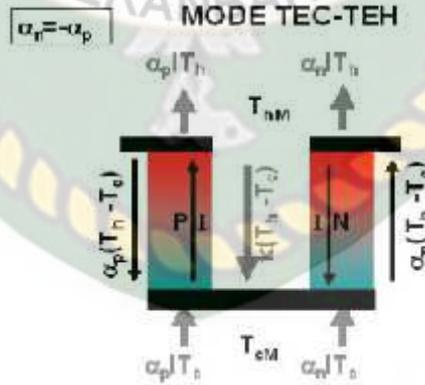
Gambar 2.9. Efek Seebeck
(Goupil dkk, 2011)

Setiap bahan memiliki koefisien *seebeck* yang berbeda-beda. Semakin besar koefisien *seebeck* ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan

listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan *thermocouple* (Ihza dkk, 2016).

2.6.2. Efek Peltier

Kebalikan dari efek *seebeck*, yaitu jika dua logam yang berbeda bahan disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor. Prinsip inilah yang disebut dengan efek *peltier*, digunakan sebagai pemanas ataupun pendingin. Jika dibandingkan dengan teknologi refrigrasi kompresi uap, termoelektrik memiliki kelebihan antara lain: pemanas atau pendingin dapat dengan mudah diatur dengan menyesuaikan arah arusnya, sangat ringkas, tidak berisik, tidak butuh perawatan khusus, tidak butuh refrigeran (freon), dan tidak ada getaran. Tetapi termoelektrik masih memiliki kekurangan yaitu peformanya masih rendah (Ihza dkk, 2016).

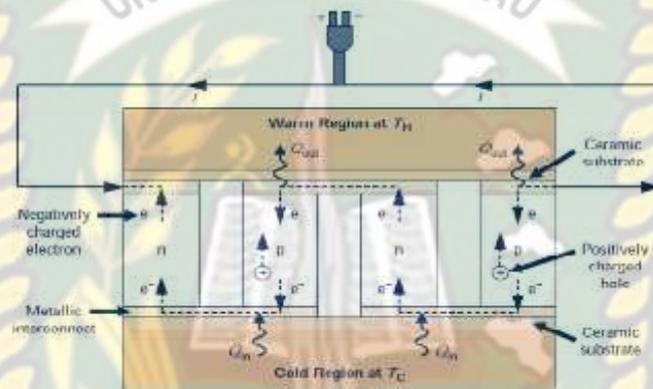


Gambar 2.10. Efek Peltier

(Goupil dkk, 2011)

2.7. Modul Termoelektrik

Modul termoelektrik yang kita gunakan dalam penelitian ini adalah elemen *peltier* atau pendingin termoelektrik (TEC). Elemen *peltier* adalah alat yang dapat menimbulkan perbedaan suhu antara kedua sisinya jika dialiri arus listrik searah (DC) pada kedua kutub materialnya. Keramik *peltier* sering dikenal dengan nama lempengan *peltier* yang dimana lempengannya berbahan keramik yang memiliki fungsi yang sangat unik (Delly dkk, 2016).



Gambar 2.11. Skematik dari Pendingin Termoelektrik
(Mainil dkk, 2015)

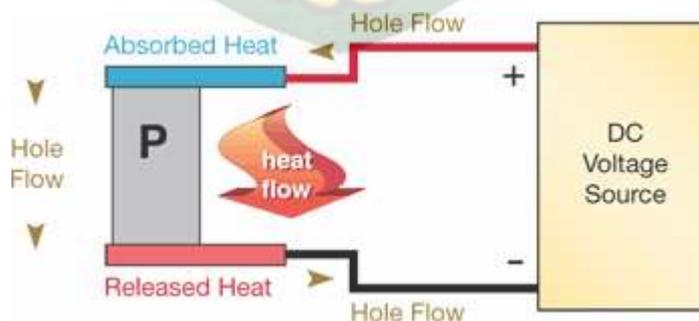
Menurut (Delly dkk, 2016) elemen *peltier* umumnya dibungkus dengan keramik tipis yang berisikan batang-batang *Bismuth Telluride* (Bi^2Te^3) didalamnya. Ketika dialiri tegangan DC 12 volt – 15 volt salah satu sisi akan menjadi panas dan sisi lainnya menjadi dingin. Elemen *peltier* memiliki 2 bagian yang berbeda yaitu:

1. *Cool Side (Heat Absorbed)* yang bekerja menyerap panas sehingga bagian ini menjadi lempengan dingin.
2. *Hot Side (Heat Realeased)* yang bekerja melepaskan panas sehingga bagian ini menjadi lempengan panas.

Bismuth Telluride (Bi^2Te^3) adalah bahan semikonduktor yang paling sering digunakan pada elemen *peltier*. *Bismuth Telluride* (Bi^2Te^3) diolah untuk menghasilkan blok atau elemen yang memiliki karakteristik individu yang berbeda yaitu N dan P. Tipe P adalah semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah, sedangkan tipe N adalah semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi. Bahan termoelektrik atau *peltier* yang lainnya termasuk Timbal *Telluride* (PbTe), *Silicon Germanium* (SiGe), dan *Bismuth-Antimony* (SbBi) adalah paduan bahan yang dapat digunakan dalam situasi tertentu. Namun, *Bismuth Telluride* (Bi^2Te^3) adalah bahan terbaik dalam hal pendinginan (Jatmiko, 2016).

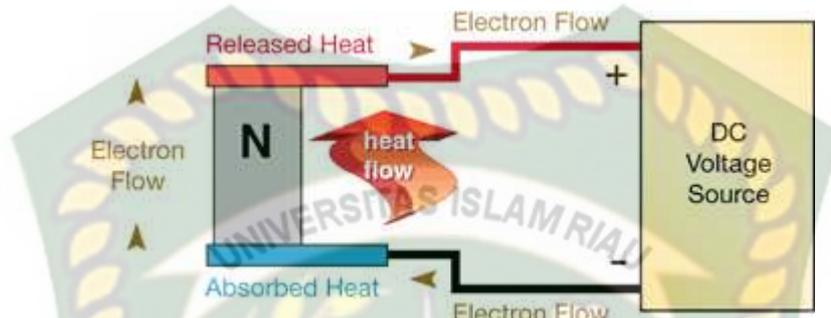
2.8. Cara Kerja Termoelektrik

Cara kerja termoelektrik atau cara kerja elemen *peltier* ini didasarkan pada efek *peltier*. Menurut (Setyadi, 2014) ketika arus DC dialirkan ke elemen *peltier* semikonduktor tipe P dan tipe N akan menyebabkan salah satu sisi elemen *peltier* menjadi dingin (panas diserap) dan disisi lain menjadi panas (panas dilepas). Seperti yang terlihat pada Gambar 2.12. dan Gambar 2.13.



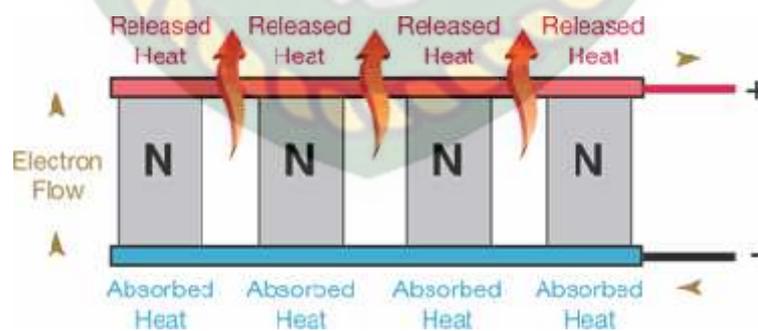
Gambar 2.12. Aliran Panas Untuk Jenis P Efek *Peltier*
 (Tellurex, 2010)

Jika salah satu dari sambungan yang menyerap panas ditempatkan pada suatu ruangan yang terisolasi maka panas yang terdapat pada ruangan tersebut akan mengalir ke sisi sambungan yang menyerap panas dari peralatan pendingin.

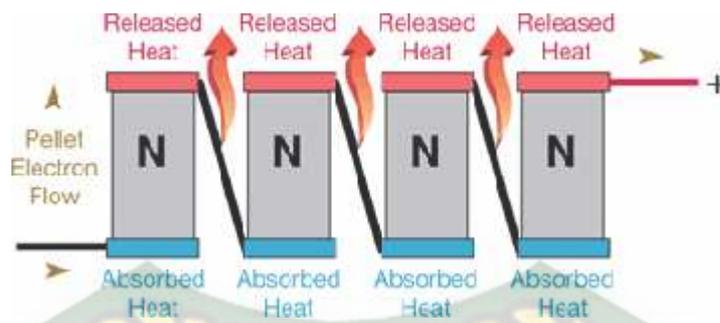


Gambar 2.13. Aliran Panas Untuk Jenis N Efek *Peltier*
 (Tellurex, 2010)

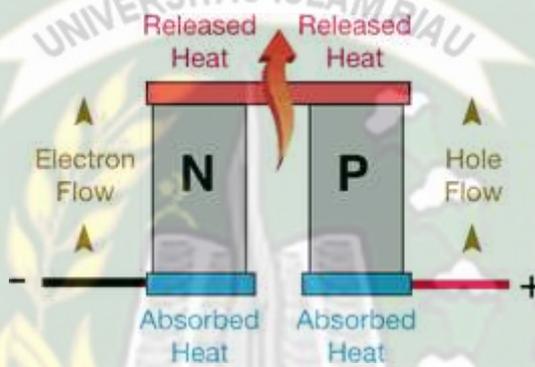
Semikonduktor jenis P dan jenis N dapat dirangkai baik secara paralel maupun seri yang terlihat pada Gambar 2.14. dan Gambar 2.15. atau dirangkai secara gabungan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. dan Gambar 2.17. Pada umumnya elemen *peltier* menggunakan sambungan semikonduktor jenis P dan jenis N seperti yang terlihat pada Gambar 2.18.



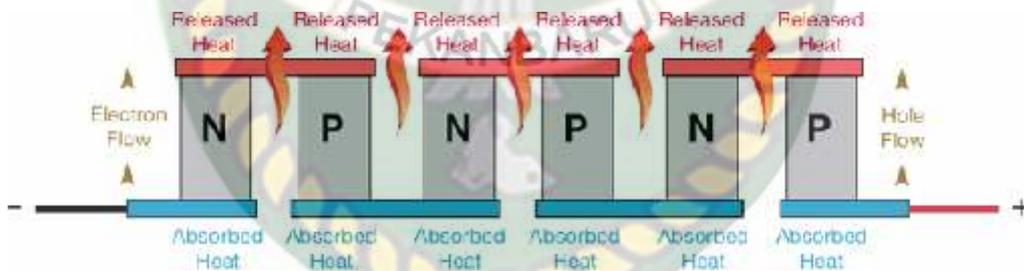
Gambar 2.14. Aliran Panas Untuk Beberapa Jenis N Terhubung Paralel
 (Tellurex, 2010)



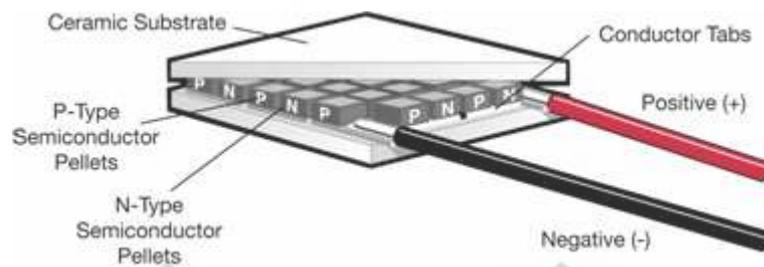
Gambar 2.15. Aliran Panas Untuk Beberapa Jenis N Terhubung Seri
(Tellurex, 2010)



Gambar 2.16. Aliran Panas Pada Gabungan Jenis P dan N dari Efek *Peltier*
(Tellurex, 2010)



Gambar 2.17. Aliran Panas Pada Gabungan Beberapa Jenis P dan N dari Efek *Peltier*
(Tellurex, 2010)



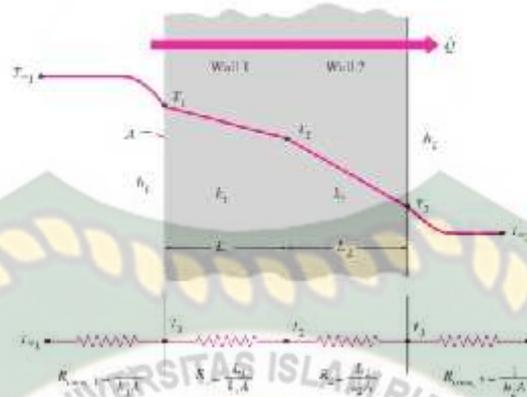
Gambar 2.18. Konfigurasi Beberapa Susunan Jenis P dan N dari Sistem Pendingin dengan Efek *Peltier* (Tellurex, 2010)

Menurut (Delly dkk, 2016) perbedaan suhu diantara kedua sisi itu berkisar 30°C . Fenomena ini dimanfaatkan orang dalam proses pendinginan. Agar panas yang timbul dari sisi sebaliknya tidak mengintervensi suhu dingin yang telah dihasilkan, maka bagian sisi yang panas ditemplei dengan *heatsink* (keping pendingin) lalu radiasi panas yang menjalar di *heatsink* tersebut disemburkan ke luar dengan bantuan kipas agar panas terbuang. Dalam prakteknya, penggunaan elemen *peltier* atau TEC (*Thermo Electric Cooler*) sebagai pendingin *solid state* tidak pernah lepas dari *heatsink* dan kipas pembuang panas.

2.9. Beban Pendinginan

Beban pendinginan merupakan jumlah panas yang dipindahkan dari suatu sistem pendingin. Beban pendinginan total merupakan jumlah beban pendinginan suatu ruangan. Beban ruang tiap jam dipengaruhi oleh perubahan temperatur udara luar, perubahan efek penyimpanan panas pada dinding bagian luar wadah pendingin (Delly dkk, 2016).

2.9.1. Beban Perpindahan Panas Konduksi



Gambar 2.19. Skema Beban Perpindahan Panas Konduksi
(Cengel dan Afshin, 2015)

Beban perpindahan panas konduksi adalah suatu panas dari luar pendingin yang berpindah melalui dinding (Cengel dan Afshin, 2015).

Persamaan mencari beban Perpindahan panas konduksi sebagai berikut:

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Q_{konduksi} : Beban Perpindahan Panas Konduksi (Watt)

ΔT : Perbedaan Temperatur (K)

R_{total} : Hambatan Termal (K/W)

$$R = \frac{L}{kA} \quad (2.2)$$

Keterangan:

R : Hambatan Termal (K/W)

L : Tebal Material (m)

k : Konduktivitas Termal Material (W/m.K)

A : Luas Permukaan Material (m²)

2.9.2. Beban Kalor Produk



Gambar 2.23. Skema Beban Panas Produk
(Cengel dan Afshin, 2015)

Beban kalor produk adalah beban kalor suatu produk dari temperatur awal ke temperatur akhir produk tersebut (Cengel dan Afshin, 2015). Perhitungan beban kalor produk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_{\text{produk}} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{\Delta t} \quad (2.3)$$

Keterangan:

Q_{produk} : Beban Kalor Produk (Watt)

m : Massa Produk (kg)

c_p : Panas Jenis dari Produk (kJ/kg.K)

ΔT : Perbedaan Temperatur (K)

Δt : Durasi (s)

$$m = \rho \cdot v \quad (2.4)$$

Keterangan:

m : Massa Produk (kg)

ρ : Densitas (kg/m³)

v : Volume Produk (m³)

2.10. Daya Input

Daya *input* adalah banyaknya daya yang digunakan alat *showcase mini* (Jatmiko, 2014). Daya *input* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$P_{in} = V \times I \quad (2.5)$$

Keterangan:

P_{in} : Daya Input (Watt)

V : Tegangan Listrik (Volt)

I : Arus Listrik (Amp)

2.11. COP (*Coefficient Of Performance*)

COP (*Coefficient Of Performance*) adalah ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap sistem atau produk terhadap besarnya daya listrik yang masuk. Nilai COP lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai COP mesin pendingin kompresi uap (Ihza dkk, 2016). Nilai COP dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$COP = \frac{Q_{produk}}{P_{in}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

COP : *Coefficient Of Performance*

Q_{produk} : Beban kalor Produk (Watt)

P_{in} : Daya Input (Watt)

2.12. Biaya Pengeluaran (*Cost*)

Biaya pengeluaran adalah biaya yang dikeluarkan dalam penggunaan alat *showcase mini* ini. Biaya pengeluaran didapat dari daya spesifikasi modul pendingin dan tarif PLN per kWh-nya (Ahsani dan Agung, 2015). Untuk harga dari tarif pemakaian listrik dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2. Tarif Tenaga Listrik Untuk Keperluan Rumah Tangga

No	Gol. Tarif	Batas Daya	Biaya Beban	Reguler	Prabayar
				Biaya Pemakaian	
1	R-1/TR	s.d. 450 VA	11000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 169 Blok II : di atas 30 kWh s.d. 60 kWh : 360 Blok III : di atas 60 kWh : 495	415
2	R-1/TR	900 VA	20000	Blok I : 0 s.d. 20 kWh : 275 Blok II : di atas 20 kWh s.d. 60 kWh : 445 Blok III : di atas 60 kWh : 495	605
		900 VA-RTM	*)	1352	1352
3	R-1/TR	1300 VA	*)	1352	1352
4	R-1/TR	2200 VA	*)	1352	1352
5	R-2/TR	3500 s.d. 5500 VA	*)	1352	1352
6	R-3/TR	6600 VA Keatas	*)	1352	1352
Catatan: *) Diterapkan Rekening Minimum (RM): $RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$					

(Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016)

Biaya pengeluaran dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Cost = \left[\left(\frac{P_{in}}{1000} \right) \times Durasi \right] \times tarif \times 30hari \quad (2.7)$$

Keterangan:

Cost : Biaya Pengeluaran (Rupiah)

P_{in} : Daya Spesifikasi Modul Pendingin (Watt)

Durasi : Lama Pemakaian per hari (Jam)

Tarif : Tarif PLN per kWh



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian berfungsi untuk menggambarkan prosedur dalam penelitian, proses ini digambarkan dalam *flowchart* berikut ini:



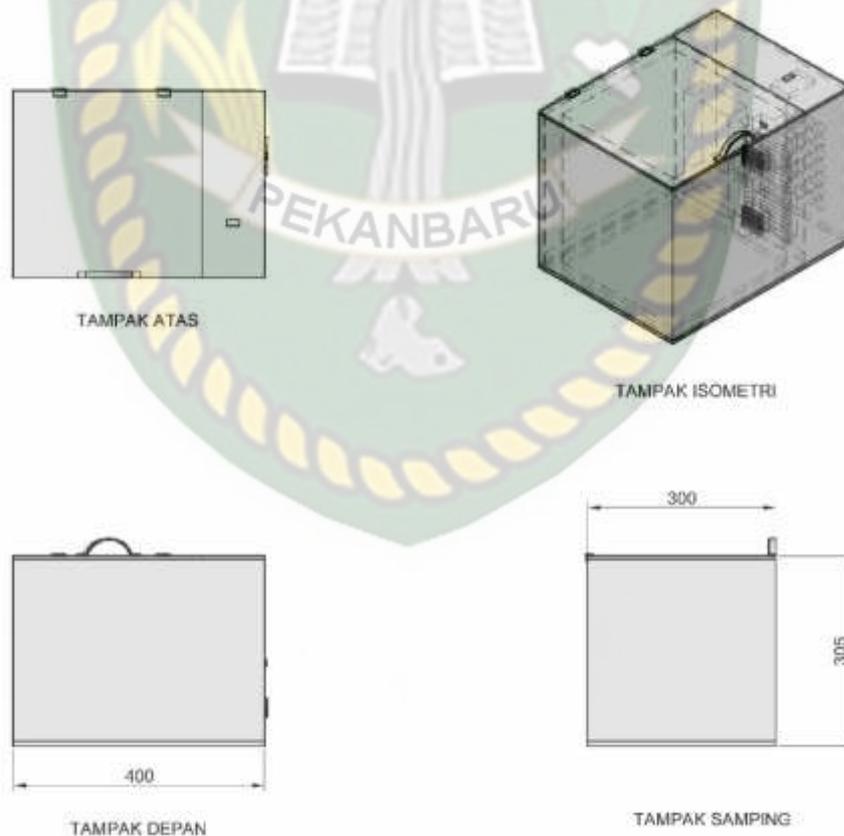
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Jalan Kaharuddin Nasution KM 11 No. 113 Marpoyan Kelurahan Air Dingin Kecamatan Bukit Raya Kota Pekanbaru. Penelitian ini meliputi, pembuatan skema rancangan, perakitan, dan pengujian *showcase mini*.

3.3. Skema Rancangan

Dalam sebuah rancangan atau pembuatan alat harus dilakukan sesuai dengan skema rancangan. Skema rancangan ini memiliki susunan dari komponen-komponen alat dan bahan pembuatan *showcase mini*. Berikut skema rancangan *showcase mini* yang dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini:

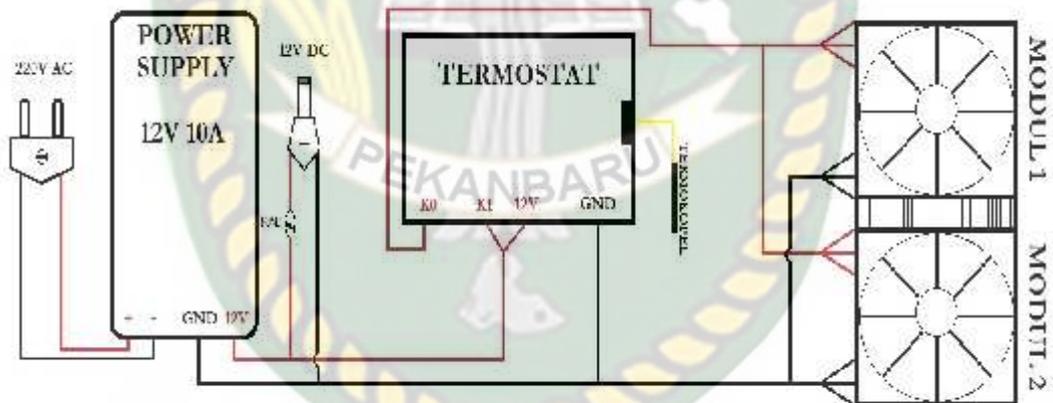


Gambar 3.2. Skema Rancangan *Showcase Mini*

Dari gambar skema rancangan diatas terdapat pula susunan modul pendingin dan rangkaian kelistrikan. Berikut skema susunan modul pendingin dan rangkaian kelistrikan pada rancangan *showcase mini* ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 dibawah ini:



Gambar 3.3. Skema Susunan Modul Pendingin



Gambar 3.4. Skema Rangkaian Kelistrikan *Showcase Mini*

3.4. Alat dan Bahan

Dalam rancang bangun *showcase mini* dibutuhkan alat dan bahan. Adapun alat dan bahan yang digunakan, yaitu:

3.4.1. Alat

Dalam pembuatan dan pengujian rancang bangun *showcase mini* memerlukan beberapa alat. Alat-alat yang digunakan adalah :

1. *Cutter*

Cutter berfungsi sebagai alat pemotong. Digunakan untuk memotong gabus dan bahan yang lainnya.



Gambar 3.5. *Cutter*

2. Gergaji

Gergaji berfungsi untuk memotong lembaran *multiplex*, siku *aluminium*, dan lembaran akrilik.



Gambar 3.6. Gergaji

3. Tang

Tang berfungsi sebagai alat pemotong kabel listrik.



Gambar 3.7. Tang

4. Obeng

Obeng berfungsi untuk memasang baut pada alat penelitian.



Gambar 3.8. Obeng

5. Lem *Sealant*

Lem *sealant* berfungsi sebagai perekat untuk rangka dari alat *showcase mini*.



Gambar 3.9. Lem *Sealant*

6. *Double Tape*

Double tape berfungsi sebagai perekat dan sebagai insulator pada tutup *showcase mini*.



Gambar 3.10. *Double Tape*

7. *Thermal Paste*

Thermal paste berfungsi sebagai perekat termoelektrik *cooller* pada *heatsink* dan *coldsink*.



Gambar 3.11. *Thermal Paste*

8. *Heat Tube*

Heat tube berfungsi sebagai pelapis sambungan kabel listrik, juga sebagai isolator agar tidak terjadinya *grounding*.



Gambar 3.12. *Heat Tube*

9. Lakban Hitam

Lakban hitam berfungsi sebagai perekat dan isolator pelapis sambungan kabel listrik.



Gambar 3.13. Lakban Hitam

10. Baut dan Mur

Baut dan mur berfungsi sebagai pengikat termostat pada rangka.



Gambar 3.14. Baut dan Mur

11. Bor Tangan

Bor tangan berfungsi sebagai alat untuk melubangi rangka dan bodi *showcase mini*.



Gambar 3.15. Bor Tangan

12. Amplas

Amplas berfungsi untuk menghaluskan permukaan kasar pada bodi dan rangka *showcase mini*.



Gambar 3.16. Amplas

13. Lem Korea

Lem korea berfungsi untuk merekatkan rangka dan bodi pada *showcase mini*.



Gambar 3.17. Lem Korea

14. Kabel Ties

Kabel *ties* berfungsi sebagai pengikat kipas DC dengan *coldsink* dan *heatsink*.



Gambar 3.18. Kabel Ties

15. Stopwatch

Stopwatch berfungsi sebagai penanda waktu dalam pengambilan data pengujian.



Gambar 3.19. *Stopwacth*

16. *Thermocouple*

Thermocouple berfungsi sebagai alat pengukur suhu pada *showcase mini*.



Gambar 3.20. *Thermocouple*

17. Termometer

Termometer berfungsi sebagai alat pengukur suhu pada *showcase mini*.



Gambar 3.21. Termometer

18. Multimeter

Multimeter berfungsi sebagai alat pengukur tegangan dan arus listrik pada *showcase mini*.



Gambar 3.22. Multimeter

3.4.2. Bahan

Dalam pembuatan dan pengujian rancang bangun *showcase mini* memerlukan beberapa bahan. Adapun bahan yang digunakan sebagai berikut :

1. *Styrofoam*

Styrofoam adalah salah satu bahan isolator dari *showcase mini* yang berfungsi menaham aliran perpindahan panas pada *showcase mini*. *Styrofoam* yang digunakan pada *showcase mini* berukuran tebal 2,5 cm.



Gambar 3.23. *Styrofoam*

2. *Multyplex*

Multyplex adalah kayu yang yang diris tipis menjadi lembaran kayu. *Multyplex* berfungsi sebagai bodi dan isolator untuk menahan perpindahan panas pada *showcase mini*. *Multyplex* yang digunakan pada *showcase mini* berukuran tebal 4 mm.



Gambar 3.24. *Multyplex*

3. Aluminium Foil Tape

Aluminium foil tape adalah salah satu isolator pada ruang pendingin *showcase mini*. Aluminium foil tape berfungsi untuk menahan perpindahan panas pada *showcase mini*. Aluminium foil tape yang digunakan pada *showcase mini* berukuran tebal 0,5 mm.



Gambar 3.25. Aluminium Foil Tape

4. Termoelektrik TEC (*Thermo Electric Cooler*)

Termoelektrik TEC berfungsi sebagai alat penukar kalor, yang dimana ketika dialiri energi listrik akan menghasilkan energi kalor secara langsung. Termoelektrik TEC yang digunakan pada *showcase mini* dengan tipe TEC 1-12706 berjumlah 2 buah.



Gambar 3.26. Termoelektrik TEC

5. Termostat

Termostat adalah alat pengendali dan pembaca suhu. Termostat berfungsi sebagai pengontrol suhu pada *showcase mini*. Termostat yang digunakan pada *showcase mini* dengan tipe W-1209.



Gambar 3.27. Termostat

6. Kipas DC

Kipas DC berfungsi untuk menghantarkan kalor yang berasal dari *coldsink* dan *heatsink*. Kipas DC yang kecil berfungsi menghantarkan suhu dingin dari *coldsink* ke ruang pendingin dan kipas DC yang besar menghantarkan suhu panas dari *heatsink* ke lingkungan sekitar. Kipas DC yang digunakan berjumlah 2 buah kipas DC kecil dan 2 buah kipas DC yang besar.



Gambar 3.28. Kipas DC

7. *Coldsink*

Coldsink berfungsi sebagai penghantar suhu dingin dari sisi dingin termoelektrik TEC. *Coldsink* yang digunakan ada 2 buah dengan ukuran panjang 6 cm, lebar 5 cm, dan tebal 3 cm.



Gambar 3.29. *Coldsink*

8. *Heatsink*

Heatsink berfungsi sebagai penghantar suhu panas dari sisi panas termoelektrik TEC. *Heatsink* yang digunakan ada 1 buah dengan ukuran panjang 26 cm, lebar 12 cm, dan tebal 3 cm.



Gambar 3.30. *Heatsink*

9. Kabel Listrik

Kabel listrik berfungsi sebagai penghantar energi listrik ke rangkaian mesin pendingin. Kabel listrik yang digunakan sepanjang 1 meter.



Gambar 3.31. Kabel Listrik

10. Soket Kabel Listrik

Soket kabel listrik berfungsi sebagai tempat penyambungan kabel listrik dengan rangkaian kelistrikan mesin pendingin dan memudahkan sambungan dipisahkan lagi dari rangkaian kelistrikan.



Gambar 3.32. Soket Kabel Listrik

11. *Power Plug* AC dan DC

Power plug berfungsi sebagai penghantar aliran listrik pada rangkaian kelistrikan mesin pendingin. *Power plug* yang digunakan ada 2 buah, untuk arus AC dan DC.



Gambar 3.33. *Power Plug* AC dan DC

12. Sekring

Sekring berfungsi sebagai pemutus aliran listrik jika terjadinya *short* pada rangkaian kelistrikan. Sekring yang digunakan adalah sekring 10 A.



Gambar 3.34. Sekring

13. *Power Suply* / Catu Daya

Power suply berfungsi sebagai penukar arus listrik dari tegangan 220 V menjadi 12 V. *Power suply* yang digunakan adalah *power suply* 12 V 20 A.



Gambar 3.35. *Power suply* / Catu Daya

14. Akrilik

Akrilik berfungsi sebagai penutup dari *showcase mini*. Akrilik yang digunakan memiliki tebal 3 mm, panjang 30 cm, dan lebar 30 cm.



Gambar 3.36. Akrilik

15. Engsel

Engsel berfungsi sebagai pegangan pada akrilik agar bisa bergerak buka tutup pada *showcase mini*. Engsel yang digunakan ada 2 buah.



Gambar 3.37. Engsel

16. Gagang Lemari

Gagang lemari berfungsi sebagai pegangan ketika membuka tutup *showcase mini*. Gagang lemari yang digunakan ada 1 buah.



Gambar 3.38. Gagang Lemari

17. Aluminium Siku

Aluminium siku berfungsi sebagai rangka pada *showcase mini*. *Aluminium* yang digunakan mengikuti ukuran *showcase mini* dengan panjang 40 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 30 cm.



Gambar 3.39. *Aluminium* Siku

18. Kunci *Tic-Tac*

Kunci *tic-tac* adalah kunci yang digunakan untuk menutup *showcase mini*. Kunci *tic-tac* yang digunakan ada 1 buah.



Gambar 3.40. Kunci *Tic-Tac*

19. Minuman Kaleng

Minuman kaleng berfungsi sebagai produk yang akan didinginkan. Minuman kaleng yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 4 buah.



Gambar 3.41. Minuman Kaleng

3.5. Perakitan Alat Penelitian

Setelah bahan-bahan yang diperlukan dan alat yang akan digunakan telah siap semua, proses perakitan alat *showcase mini* bisa dilaksanakan. Berikut proses perakitan alat *showcase mini* :

1. Potong papan *multyplex* sebagai *casing* menggunakan gergaji dengan ukuran :
 - Yang pertama, potong dengan ukuran 40cm x 30cm sebanyak 3 lembar sebagai dinding depan dan belakang serta alas *showcase mini*.
 - Yang kedua, potong dengan ukuran 30cm x 30cm sebanyak 2 lembar sebagai dinding kiri dan kanan *showcase mini* tampak dari depan.
 - Yang ketiga, potong dengan ukuran 10cm x 30cm sebanyak 1 lembar sebagai penutup ruang mesin pada bagian atas *showcase mini*.
2. Potong *aluminium* siku dengan ukuran 40cm x 30cm x 30cm sebagai rangka alat penelitian, kemudian rakit rangka dan pasang papan *multyplex* yang sudah dipotong menjadi *casing showcase mini*.



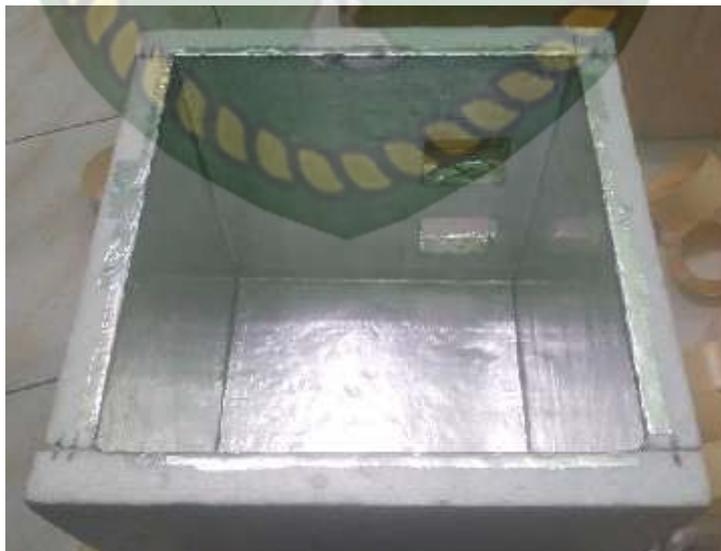
Gambar 3.42. *Casing Showcase Mini*

3. Potong *styrofoam* menggunakan *cutter* dengan ukuran 30cm x 30cm x 30cm, lalu direkatkan menggunakan lem *sealant*. Rangkai *Styrofoam* menjadi bentuk kotak dan buat lubang untuk *coldsink* modul pendingin.



Gambar 3.43. Kotak *Styrofoam*

4. Potong *aluminium foil tape* sesuai dengan ukuran *styrofoam* bagian dalam sebagai penahan temperatur pada bagian dalam *styrofoam* yang telah berbentuk kotak.



Gambar 3.44. *Alumnium Foil* Pada Kotak *Styrofoam*

5. Satukan kotak *Styrofoam* dengan *casing showcase mini*. Posisikan kotak didalam *casing* dan lubang *coldsink* berada pada bagian ruang mesin *showcase mini*.



Gambar 3.45. Penyatuan Kotak *Styrofoam* dengan *Casing Showcase Mini*

6. Merakit susunan modul pendingin sesuai dengan skema yang terdapat pada Gambar 3.3, dengan cara :
 - Yang pertama, satukan *coldsink* dengan bagian TEC (*Thermo Electric Cooler*) yang ada tanda kode menggunakan *thermal paste* agar melekat, kemudian satukan *heatsink* dengan bagian TEC (*Thermo Electric Cooler*) yang polos menggunakan *thermal paste* agar melekat.
 - Yang kedua, pasang kipas DC kecil pada *coldsink* dan pasang kipas DC besar pada *heatsink* menggunakan kabelties.
 - Yang ketiga, satukan kabel positif menjadi satu rangkaian dan satukan kabel negatif menjadi satu rangkaian menggunakan tang lalu gunakan *heat tube* untuk kabel terbuka agar kabel tidak *grounding*.



Gambar 3.46. Modul Pendingin

7. Pasang modul pendingin ke kotak *styrofoam* sesuai dengan posisi yang sudah ditentukan. Sesuaikan posisi *coldsink* dengan lubang yang berada pada kotak *styrofoam*.



Gambar 3.47. Posisi *Coldsink* pada Kotak *Styrofoam*

8. Merakit rangkaian kelistrikan *showcase mini* sesuai dengan skema yang terdapat pada Gambar 3.4, dengan cara :
 - Yang pertama, kabel positif dari modul pendingin masuk ke termostat terminal K0, lalu kabel positif dari terminal K1 dan 12V masuk ke *power supply* terminal 12V.

- Yang kedua, kabel negatif modul pendingin masuk ke termostat GND, lalu kabel negatif dari GND termostat masuk ke *power supply* terminal GND.
- Yang ketiga, kabel positif dan negatif dari keluaran arus AC *power supply* dipasang ke *power plug* AC.
- Yang keempat, kabel positif dan negatif dari *power supply* terminal 12V dan GND dipasang ke *power plug* DC 12V, sebelum itu pasang sekering 10A di antara kabel positif terminal 12V dan *power plug* DC 12V.
- Yang kelima, posisikan termokopel dari termostat didalam kotak *styrofoam* sebagai pengukur temperatur didalam kotak *styrofoam*.



Gambar 3.48. Rangkaian Kelistrikan

9. Potong papan *acrylic* menggunakan *cutter* dengan ukuran 30cm x 30cm sebanyak 1 lembar sebagai penutup *showcase mini*.
10. Pasang papan *acrylic* pada *casing showcase mini* menggunakan 2 buah engsel, gabungkan 2 buah engsel dengan menggunakan obeng.

11. Pasang gagang lemari sebagai pegangan membuka tutup *showcase mini*.
12. Pasang kunci *tic-tac* sebagai pengunci penutup *showcase mini*, gunakan obeng untuk memasang kunci didinding *casing* dan penutup *showcase mini*.
13. Pasang *double tape* busa di sekeliling bibir *showcase mini* untuk mencegah udara bersirkulasi.



Gambar 3.49. Penutup *Showcase Mini*

14. Lakukan *finishing* seperti pemasangan *garnish aluminium* siku pada *casing showcase mini* dan pengecek ulang dari seluruh perakitan *showcase mini* untuk memastikan semuanya sudah terpasang dengan rapi dan bersih.



Gambar 3.50. *Showcase Mini*

3.6. Prosedur Pengujian Alat Penelitian

Pengujian alat penelitian dilakukan dengan cara mengukur temperatur pada lingkungan, temperatur ruang pendingin, temperatur pada *coldsink*, temperatur pada *heatsink*, temperatur pada dinding luar *showcase mini*, temperatur pada dinding dalam *showcase mini*, temperatur pada produk yang didinginkan, arus listrik yang dibutuhkan, dan tegangan yang digunakan oleh *showcase mini*.

Sisi panas dan sisi dingin TEC (*Thermo Electric Cooler*) diharuskan terjadi perbedaan temperatur (ΔT) sehingga terjadinya proses pendinginan, pengujian alat penelitian dapat dinyatakan berhasil jika temperatur dalam *showcase mini* dan produk yang didinginkan berkurang sampai batas maksimal yang tercapai, dengan batasan waktu selama 6 jam.

3.6.1. Variasi Pengujian Alat Penelitian

Pengujian alat penelitian dilakukan selama 6 jam dengan pengambilan data setiap 30 menit. Pengujian dilakukan dengan variasi tanpa beban pendingin dan dengan beban pendingin. Penjelasan variasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian Pertama

Pengujian dilakukan tanpa apapun didalam *showcase mini* dan pengujian dilakukan selama 6 jam dengan pengambilan data setiap 30 menit.

2. Pengujian Kedua

Pengujian dilakukan dengan beban pendingin berupa minuman kaleng sebanyak 4 buah dan pengujian dilakukan selama 6 jam dengan pengambilan data setiap 30 menit.

3.6.2. Pengambilan Data Pengujian 1

Urutan dalam pengambilan data alat penelitian tanpa beban pendingin selama 6 jam.

1. Pasangkan termokopel pada *coldsink*, *heatsink*, dan ruang pendingin pada *showcase mini*.
2. Persiapkan termometer untuk pengambilan data temperatur pada dinding luar, dinding dalam, dan temperature lingkungan *showcase mini*.
3. Pasang multimeter pada kutub positif dan kutub negatif yang terdapat di *power supply*.

4. Nyalakan *showcase mini* dan catat keluaran tegangan listrik, keluaran arus listrik, dan temperatur pada termometer serta termokopel.
5. Catat perubahan temperatur pada semua termokopel serta termometer, keluaran tegangan listrik, dan keluaran arus listrik setiap 30 menit selama 6 jam.
6. Matikan *showcase mini*.

3.6.3. Pengambilan Data Pengujian 2

Urutan dalam pengambilan data alat penelitian dengan beban pendingin minuman kaleng selama 60 menit.

1. Pasangkan termokopel pada *coldsink*, produk minuman, dan ruang pendingin pada *showcase mini*.
2. Persiapkan termometer untuk pengambilan data temperatur pada *heatsink*, dinding luar, dinding dalam, dan temperatur lingkungan *showcase mini*.
3. Pasang multimeter pada kutub positif dan kutub negatif yang terdapat di *power supply*.
4. Nyalakan *showcase mini* dan catat keluaran tegangan listrik, keluaran arus listrik, dan temperatur pada termometer serta termokopel.
5. Catat perubahan temperatur pada semua termokopel serta termometer, keluaran tegangan listrik, dan keluaran arus listrik setiap 30 menit selama 6 jam.
6. Matikan *showcase mini*.

3.7. Jadwal Kegiatan Penelitian

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan, maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

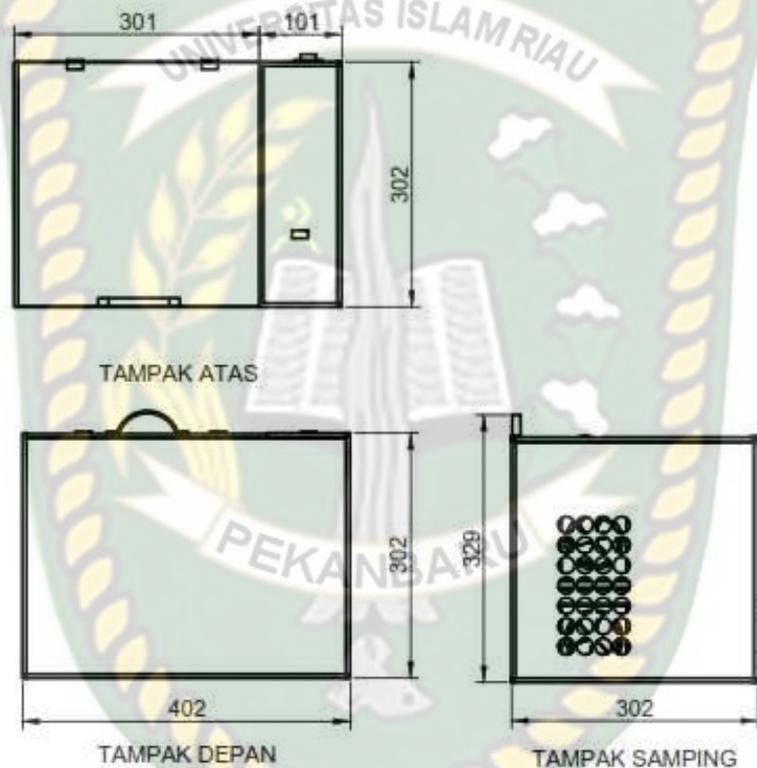
No	JenisKegiatan	Bulan – ke				
		1	2	3	4	5
1	Studi Literatur					
2	Persiapan alat dan bahan					
3	Pengujian dan pengumpulan data					
4	Analisi data					
5	Hasil akhir dan presentasi					

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Spesifikasi Alat Penelitian

4.1.1. Spesifikasi Ukuran *Showcase Mini*

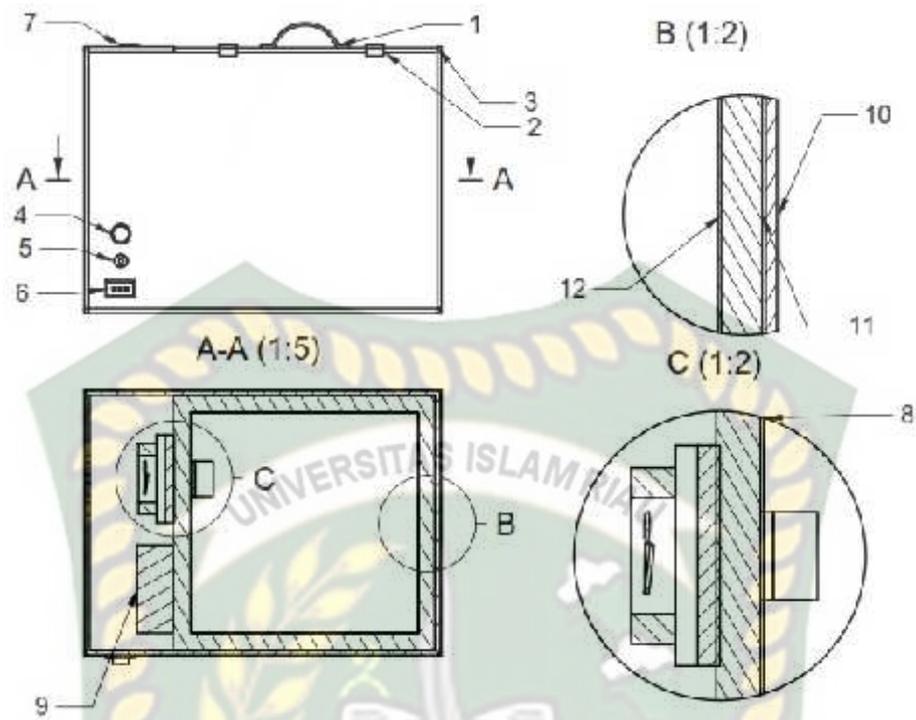
Spesifikasi ini menjelaskan panjang, lebar, dan tinggi dari ukuran *showcase mini*. Untuk ukurannya bisa dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1. Spesifikasi Ukuran *Showcase Mini*

4.1.2. Spesifikasi Komponen *Showcase Mini*

Spesifikasi ini meliputi komponen-komponen yang terdapat pada *showcase mini*. Komponen-komponen *showcase mini* dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:



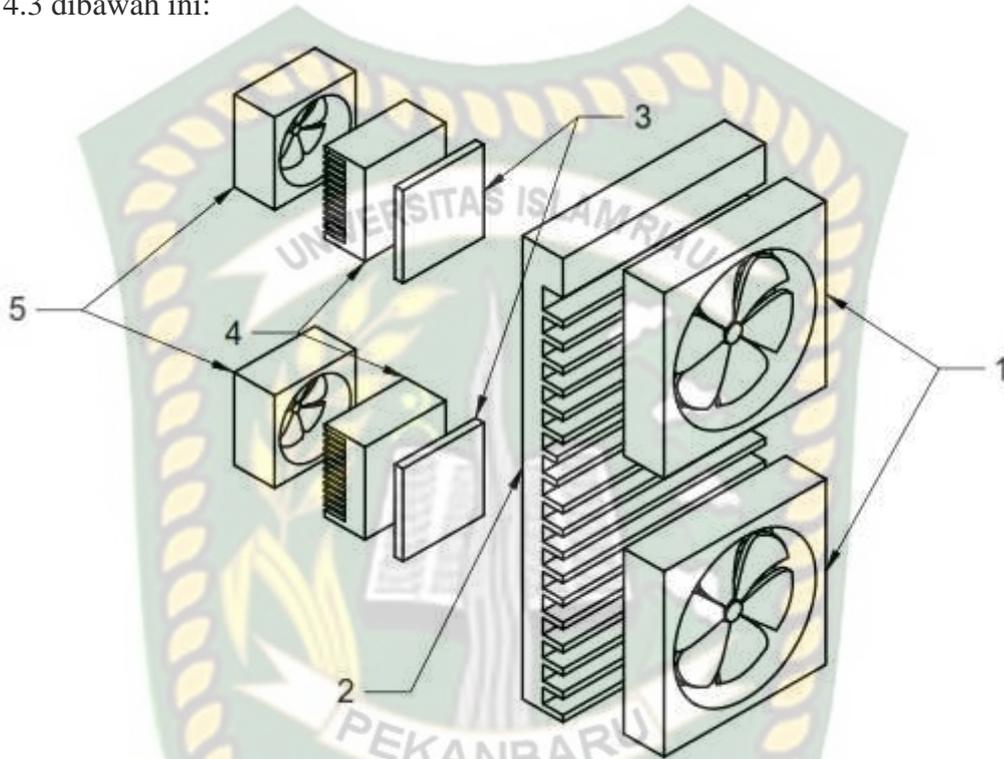
Gambar 4.2. Spesifikasi Komponen *Showcase Mini*

Spesifikasi dari komponen *showcase mini*, yaitu:

1. Gagang Lemari
2. Engsel
3. Pintu Akrilik
4. Sekring
5. *Power Plug* DC
6. *Power Plug* AC
7. Termostat
8. Modul Pendingin
9. *Power Suply*
10. Dinding *Multiplex*
11. Dinding *Styrofoam*
12. Dinding *Aluminium Foil*

4.1.3. Spesifikasi Komponen Modul Pendingin

Spesifikasi ini meliputi komponen-komponen yang terdapat pada modul pendingin. Komponen-komponen modul pendingin dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini:



Gambar 4.3. Spesifikasi Komponen Modul Pendingin

Spesifikasi dari komponen modul pendingin, yaitu:

1. Kipas DC Besar
2. *Heatsink*
3. *Thermoelectric Cooler*
4. *Coldsink*
5. Kipas DC Kecil

4.2. Data Hasil Penelitian

Pengujian alat *showcase mini* dilaksanakan dengan 2 variasi yaitu pengujian tanpa beban pendingin dan pengujian dengan beban pendingin. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 15 sampai 24 Juni 2020. Pengujian alat *showcase mini* ini dilakukan selama 6 jam perharinya. Pengambilan data perubahan temperatur dilakukan setiap per 30 menit. Data hasil penelitian yang digunakan hanya 1 dari setiap variasi. Data hasil pengujian alat *showcase mini* variasi tanpa beban pendingin dapat dilihat pada tabel 4.1 dan data hasil pengujian alat *showcase mini* variasi dengan beban pendingin dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Tanpa Beban Pendingin

No	Waktu	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	V	I
1	00.30	29,0	22,9	18,9	45,4	29,5	26,9	12,39	0,026
2	01.00	29,0	23,4	18,8	45,3	29,3	27,4	12,39	0,026
3	01.30	29,5	23,5	18,8	45,1	29,3	26,9	12,40	0,026
4	02.00	28,6	22,9	17,8	44,3	28,9	26,1	12,40	0,026
5	02.30	29,3	22,3	17,9	44,3	29,1	26,9	12,40	0,026
6	03.00	29,1	22,5	18,1	44,5	29,6	26,8	12,40	0,026
7	03.30	29,4	22,8	18,4	44,0	29,3	26,7	12,40	0,026
8	04.00	29,1	22,8	18,8	44,3	29,1	26,8	12,40	0,026
9	04.30	29,1	22,8	18,5	44,1	28,9	26,7	12,40	0,026
10	05.00	30,3	22,7	18,3	44,6	28,9	26,4	12,40	0,026
11	05.30	29,1	22,6	18,3	44,7	28,6	26,3	12,40	0,026
12	06.00	30,4	22,6	18,3	44,6	28,9	26,6	12,40	0,026

Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Dengan Beban Pendingin

No	Waktu	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	V	I
1	00.30	30,1	25,6	22,1	39,7	30,3	29,2	26,3	12,39	0,026
2	01.00	30,5	25,3	22,1	39,3	30,5	29,3	25,3	12,39	0,026
3	01.30	29,8	25,0	22,0	37,2	29,7	27,6	24,8	12,39	0,026
4	02.00	32,3	24,8	22,4	41,3	32,6	30,4	24,5	12,39	0,026
5	02.30	30,0	24,7	21,9	38,8	29,9	28,1	24,3	12,40	0,026
6	03.00	30,3	24,6	21,8	39,5	30,3	28,4	24,1	12,40	0,026
7	03.30	29,8	24,5	21,5	39,6	29,5	27,9	24,0	12,40	0,026
8	04.00	29,8	24,2	21,0	38,3	30,0	27,9	23,8	12,40	0,026
9	04.30	29,3	24,1	21,3	37,9	29,3	27,5	23,6	12,40	0,026
10	05.00	29,3	23,9	21,0	37,3	29,0	27,3	23,5	12,40	0,026
11	05.30	28,6	23,7	20,6	36,5	28,3	26,8	23,4	12,40	0,026
12	06.00	28,6	23,7	20,6	36,6	28,1	26,4	23,3	12,40	0,026

Keterangan:

- T₁ : Temperatur Lingkungan (°C)
- T₂ : Temperatur Ruang Pendingin (°C)
- T₃ : Temperatur *Coldsink* (°C)
- T₄ : Temperatur *Heatsink* (°C)
- T₅ : Temperatur Dinding Luar (°C)
- T₆ : Temperatur Dinding Dalam (°C)
- T₇ : Temperatur Produk (°C)
- V : Tegangan Listrik (Volt)
- I : Arus Listrik (Amp)

4.3. Analisa Termal

Hasil perhitungan dengan menggunakan 2 variasi untuk menghitung unjuk kerja pada penelitian ini. Dengan menggunakan persamaan untuk menghitung beban perpindahan panas konduksi, beban kalor produk, daya *input*, COP (*Coefficient Of Performance*), dan biaya pengeluaran (*Cost*) yaitu:

4.3.1. Beban Perpindahan Panas Konduksi

Beban perpindahan panas konduksi adalah beban yang ditransfer keruang pendingin melalui permukaannya. Untuk mendapatkan nilai beban perpindahan panas konduksi maka dicari nilai hambatan termal menggunakan persamaan berikut:

$$R_{dinding} = \frac{L_1}{k_1 \cdot A_1} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A_2} + \frac{L_3}{k_3 \cdot A_3}$$

Dimana :

- $R_{dinding}$: Hambatan Termal (K/W)
- L_1 : Tebal *Multyplex* (0,005 m)
- k_1 : Konduktivitas Termal *Multyplex* (0,115 W/m.K)
- A_1 : Luas Permukaan *Multyplex* (0,09 m²)
- L_2 : Tebal *Styrofoam* (0,025 m)
- k_2 : Konduktivitas Termal *Styrofoam* (0,040 W/m.K)
- A_2 : Luas Permukaan *Styrofoam* (0,09 m²)
- L_3 : Tebal *Aluminium Foil* (0,00005 m)
- k_3 : Konduktivitas Termal *Aluminium Foil* (0,000017 W/m.K)
- A_3 : Luas Permukaan *Aluminium Foil* (0,06875 m²)

$$R_{\text{akrilik}} = \frac{L_{\text{akrilik}}}{k_{\text{akrilik}} \cdot A_{\text{akrilik}}}$$

Dimana :

R_{akrilik} : Hambatan Termal (K/W)

L_{akrilik} : Tebal Akrilik (0,003 m)

K_{akrilik} : Konduktivitas Termal Akrilik (0,19 W/m.K)

A_{akrilik} : Luas Permukaan Akrilik (0,09 m²)

$$R_{\text{total}} = (R_{\text{dinding}} \times 4) + R_{\text{akrilik}}$$

Maka,

$$\begin{aligned} R_{\text{dinding}} &= \frac{0,005m}{0,115 \frac{W}{m.K} \times 0,09m^2} + \frac{0,025m}{0,040 \frac{W}{m.K} \times 0,09m^2} + \frac{0,00005m}{0,000017 \frac{W}{m.K} \times 0,06875m^2} \\ &= 0,48 \frac{K}{W} + 6,944 \frac{K}{W} + 42,78 \frac{K}{W} \\ &= 50,2 K/W \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{akrilik}} &= \frac{0,003m}{0,19 \frac{W}{m.K} \times 0,09m^2} \\ &= 0,175 K/W \end{aligned}$$

$$R_{\text{total}} = (R_{\text{dinding}} \times 4) + R_{\text{akrilik}}$$

$$= \left(50,2 \frac{K}{W} \times 4 \right) + 0,175 \frac{K}{W}$$

$$= 200,8 \frac{K}{W} + 0,175 \frac{K}{W}$$

$$= 200,975 K/W$$

4.3.1.1. Hasil Perhitungan Beban Perpindahan Panas Konduksi Pada Variasi Tanpa Beban Pendingin

- 1) Durasi 30 Menit

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{konduksi}} &= \frac{T_s - T_6}{R_{\text{total}}} \\
 &= \frac{(29,5 + 273K) - (26,9 + 273K)}{200,975 \frac{K}{W}} \\
 &= 0,012 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

4.3.1.2. Hasil Perhitungan Beban Perpindahan Panas Konduksi Pada Variasi Dengan Beban Pendingin

- 1) Durasi 30 Menit

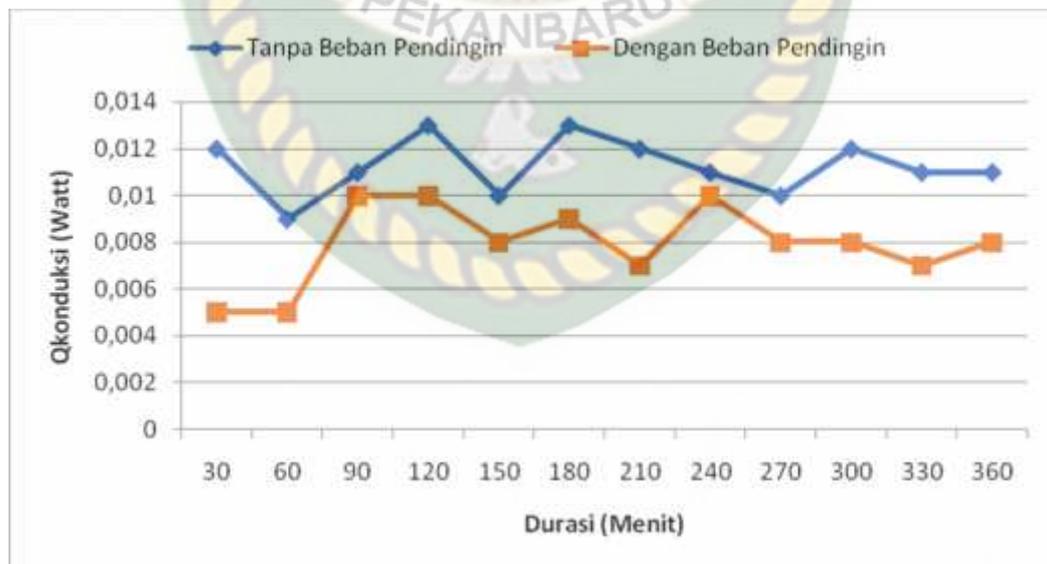
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{konduksi}} &= \frac{T_s - T_6}{R_{\text{total}}} \\
 &= \frac{(30,3 + 273K) - (29,2 + 273K)}{200,975 \frac{K}{W}} \\
 &= 0,005 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Diatas adalah salah satu perhitungan dari variasi tanpa beban pendingin dan dengan beban pendingin. Dari data hasil perhitungan beban perpindahan panas konduksi pada alat penelitian *showcase mini* dengan perbandingan tanpa beban pendingin dan dengan beban pendingin, maka dapat dimasukkan ke tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Beban Perpindahan Panas Konduksi

NO	Durasi Menit	Tanpa Beban Pendingin (Watt)	Dengan Beban Pendingin (Watt)
1	30	0,012	0,005
2	60	0,009	0,005
3	90	0,011	0,010
4	120	0,013	0,010
5	150	0,010	0,008
6	180	0,013	0,009
7	210	0,012	0,007
8	240	0,011	0,010
9	270	0,010	0,008
10	300	0,012	0,008
11	330	0,011	0,007
12	360	0,011	0,008

Dari tabel 4.3 diatas, maka dapat ditampilkan kedalam bentuk diagram garis yang akan menjelaskan perbandingan tanpa beban pendingin dan dengan beban pendinginan pada perhitungan beban perpindahan panas konduksi. Diagram garis dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini:



Gambar 4.4. Diagram Hasil Perhitungan Beban Perpindahan Panas Konduksi

Dari diagram garis diatas terdapat dua variasi yaitu tanpa beban pendingin dan dengan beban pendingin. Untuk variasi tanpa beban pendingin didapat nilai tertinggi pada durasi 120 menit dan 180 menit dengan nilai 0,013 Watt. Sedangkan variasi dengan beban pendingin didapat nilai tertinggi pada durasi 90 menit, 120 menit, dan 240 menit dengan nilai 0,010 Watt.

4.3.2. Beban Kalor Produk

Beban kalor produk adalah beban yang ditransfer ke dalam produk minuman. Volume pada minuman kaleng sebesar $0,00032 \text{ m}^3$. Untuk mendapatkan nilai beban kalor produk maka dicari dulu nilai massa jenis air dan panas jenis air, nilainya terdapat pada tabel 4.4 dibawah ini:

Tabel 4.4. Nilai Massa Jenis Air dan Panas Jenis Air

No	Temperatur (°C)	Massa Jenis Air (Kg/m ³)	Panas Jenis (J/Kg.K)
1	20	998,0	4182
2	25	997,0	4180

(Cengel dan Afshin, 2015)

4.3.2.1. Hasil Perhitungan Beban Kalor Produk

1) Durasi 30 Menit

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \cdot v \\
 &= 997,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00032 \text{m}^3 \\
 &= 0,31904 \text{kg}
 \end{aligned}$$

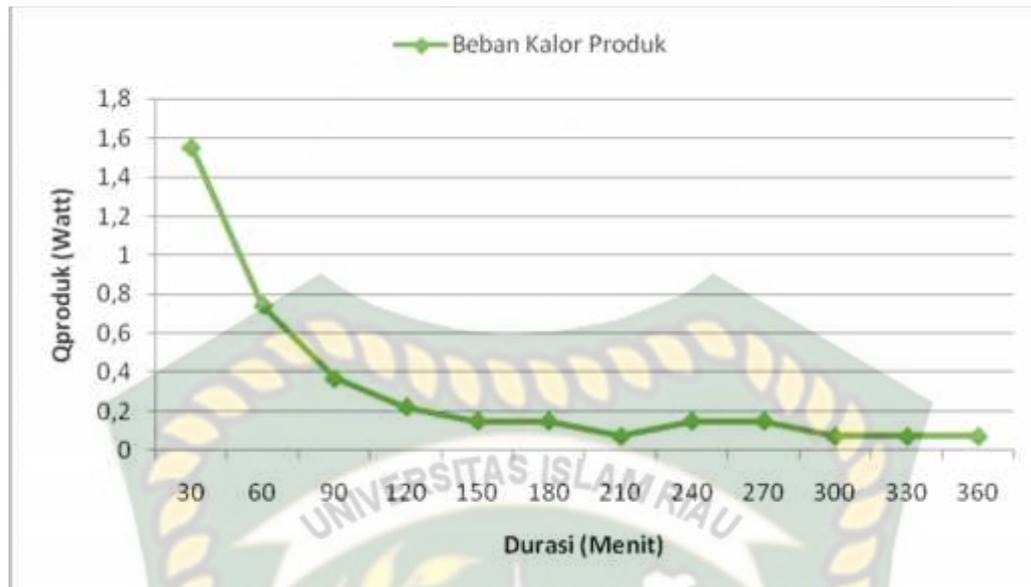
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{produk}} &= \frac{m \cdot Cp \cdot (T_{70} - T_{71})}{\Delta t} \\
 &= \frac{0,31904 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot [(28,4 + 273) - (26,3 + 273)] \text{ K}}{1800 \text{ S}} \\
 &= 1,555 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Diatas adalah salah satu perhitungan dari beban kalor produk. Dari data hasil perhitungan beban kalor produk, maka data bisa dimasukan kedalam tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Beban Kalor Produk

NO	Durasi (Menit)	Q _{produk} (Watt)
1	30	1,555
2	60	0,740
3	90	0,370
4	120	0,222
5	150	0,148
6	180	0,148
7	210	0,074
8	240	0,148
9	270	0,148
10	300	0,074
11	330	0,074
12	360	0,074

Dari tabel 4.5 diatas, maka dapat ditampilkan kedalam bentuk diagram garis yang akan menjelaskan perubahan beban kalor produk, dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini:



Gambar 4.5. Diagram Hasil Perhitungan Beban Kalor Produk

Dari diagram hasil diatas didapat nilai tertinggi dan terendah. Untuk nilai tertinggi didapat pada durasi 30 menit dengan nilai 1,555 Watt. Sedangkan nilai terendah didapat pada durasi 210 menit, 300 menit, 330 menit, dan 360 menit dengan nilai 0,074 Watt.

4.3.3. Daya Input

Daya *input* adalah banyaknya daya yang masuk pada alat penelitian *showcase mini*. Daya *input* dari pengujian alat penelitian *showcase mini* memiliki nilai yang konstan, maka diambil nilai rata-ratanya. Perhitungan daya *input* dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = V \cdot I$$

Dimana :

P_{in} : Daya *Input* (Watt)

V : Tegangan Listrik (12,40 Volt)

I : Arus Listrik (0,026 Amp)

Maka,

$$\begin{aligned} P_{in} &= V \cdot I \\ &= 12,40 \text{ V} \times 0,026 \text{ A} \\ &= 0,3224 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi, hasil daya *input* yang didapat dari perhitungan diatas adalah sebesar 0,3224 Watt. Nilai tersebut didapat dari data tegangan dan arus listrik hasil pengujian alat penelitian.

4.3.4. COP (*Coefficient Of Performance*)

COP (*Coefficient Of Performance*) adalah ukuran efisiensi dari suatu sistem pendingin. Besarnya COP dipengaruhi oleh besarnya nilai kalor yang diserap produk dan besarnya daya listrik. nilai COP dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$COP = \frac{Q_{produk}}{P_{in}}$$

Dimana :

COP : *Coefficient Of Performance*

P_{in} : *Daya Input* (0,3224 Watt)

Q_{produk} : *Beban Kalor Produk* (Watt)

4.3.4.1. Hasil Perhitungan COP

1) Durasi 30 Menit

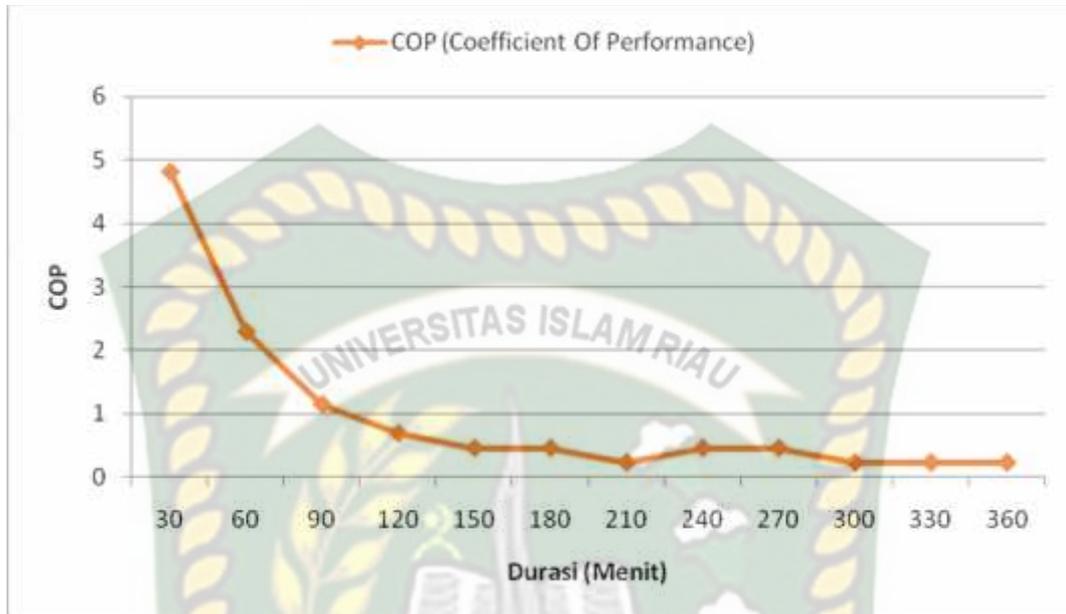
$$\begin{aligned} COP &= \frac{Q_{produk}}{P_{in}} \\ &= \frac{1,555 \text{ W}}{0,3224 \text{ W}} \\ &= 4,823 \end{aligned}$$

Diatas adalah salah satu perhitungan dari COP (*Coefficient Of Performance*). Dari data hasil perhitungan COP (*Coefficient Of Performance*), maka dapat dimasukkan kedalam tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan COP (*Coefficient Of Performance*)

No	Durasi (Menit)	COP
1	30	4,823
2	60	2,295
3	90	1,147
4	120	0,688
5	150	0,459
6	180	0,459
7	210	0,229
8	240	0,459
9	270	0,459
10	300	0,229
11	330	0,229
12	360	0,229

Dari tabel 4.6 diatas, maka dapat ditampilkan kedalam bentuk diagram garis pada gambar 4.6 dibawah ini:



Gambar 4.6. Diagram Hasil Perhitungan COP (*Coefficient Of Performance*)

Dari diagram hasil diatas didapat nilai tertinggi dan terendah. Untuk nilai tertinggi didapat pada durasi 30 menit dengan nilai 4,823. Sedangkan nilai terendah didapat pada durasi 210 menit, 300 menit, 330 menit, dan 360 menit dengan nilai 0,229.

4.3.5. Cost

Cost adalah Biaya pengeluaran yang digunakan pada alat penelitian *showcase mini*. Untuk mencari nilai *cost*, maka digunakan ukuran tegangan listrik dan arus listrik dari spesifikasi komponen modul pendinginan.

Tabel 4.7. Spesifikasi Komponen Modul Pendingin

No	Komponen	V	I	Jumlah
1	Termoelektrik (TEC)	12	6	2
2	Kipas Besar DC	12	0,02	2
3	Kipas Kecil DC	12	0,02	2

Dari tabel 4.7 maka kita dapat mencari nilai daya *input* untuk menghitung biaya pengeluaran alat penelitian *showcase mini*. Daya *input* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$P_{in} = V \cdot I$$

Dimana :

P_{in} : Daya *Input* (Watt)

V : Tegangan Listrik (12 Volt)

I : Arus Listrik (Amp)

Maka,

$$P_{in} = V \cdot I$$

$$= 12 \text{ V} \times [(6 \times 2) + (0,02 \times 4)] \text{ A}$$

$$= 144,96 \text{ Watt}$$

$$= 0,14496 \text{ kW}$$

Lalu, untuk nilai dari tarif pemakaian listrik digunakan golongan Tarif R-1/TR dengan batas daya 900 VA dapat dilihat pada tabel 2.2 maka perhitungan *cost* bisa dicari dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Cost} &= (P_{in} \times 6 \text{ hour}) \times 605 \times 30 \text{ hari} \\ &= (0,14496 \text{ kW} \times 6 \text{ hour}) \times 605 \times 30 \text{ hari} \\ &= 0,86976 \text{ kWh} \times 605 \times 30 \text{ hari} \\ &= 15786,144 = \text{Rp } 16000,00 \end{aligned}$$

Jadi, biaya pengeluaran yang digunakan alat penelitian *showcase mini* ini sebesar Rp 600,00 perhari dan Rp 16000,00 perbulannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Rancangan pada *showcase mini* mendapatkan ukuran alat dengan panjang 402 mm, lebar 302 mm, dan tinggi 302 mm.
2. Perakitan alat *showcase mini* menghasilkan prototipe alat yang berfungsi dengan baik..
3. Pengujian alat pendingin *showcase mini* variasi tanpa beban pendingin mendapatkan temperatur akhir ruang pendingin sebesar 22,6 °C.
4. Pengujian alat pendingin *showcase mini* variasi dengan beban pendingin mendapatkan temperatur akhir produk sebesar 23,3 °C.
5. Dalam perhitungan hasil didapatkan nilai COP (*Coefficient Of Performance*) yang tertinggi sebesar 4,823 dan terendah sebesar 0,229.
6. Biaya pengeluaran yang didapat dari perhitungan alat pendingin *showcase mini* adalah Rp 16000,00 perbulan.

5.2. Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat *showcase mini* ini terdapat beberapa saran untuk pengembangan dalam penelitian yang akan datang, yaitu:

1. Pengembangan terhadap material dinding dan tutup agar dingin yang dihasilkan lebih optimal.

2. Untuk bagian pembuang panas pada *heatsink* agar dapat ditingkatkan lagi supaya panas yang dibuang lebih optimal.
3. Penambahan baterai pada alat *showcase mini* agar alat bisa digunakan dimana saja.
4. Pengembangan terhadap *casings showcase mini* agar penampilannya lebih menarik.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahsani, Munib dan Agung Prijo Budijono. 2015. *Rancang Bangun Pendingin Ruang Portable Dengan Memanfaatkan Efek Perbedaan Suhu Pada Thermoelectric Cooler (TEC)*. Universitas Negeri Surabaya : Surabaya
- Aziz, Azridjal., Joko Subroto dan Villager Silpana. 2015. *Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman*. Universitas Riau : Pekanbaru
- Cengel, Yunus A dan Afshin J Ghajar. 2015. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications*. McGraw Hill Education : Amerika
- Delly, Jenny., Muhammad Hasbi, ST., MT dan Indra Fitra Alkhoiron. 2016. *Studi Penggunaan Modul Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Portable*. Universitas Halu Oleo : Kendari
- Derry. 2016. *Berbagai Macam Showcase Untuk Menampilkan Produk*.
www.Indotara.co.id
- Goupil, Christophe dkk. 2011. *Thermodynamics of Thermoelectric Phenomena and Applications*. Entropy
- Ihza, Yusril., Widiyanto dan Almadora Anwar Sani. 2016. *Rancang Bangun Kulkas Mini Termoelektrik*. Politeknik Negeri Sriwijaya : Palembang
- Jatmiko, Andreas Wahyu. 2014. *Kotak Pendingin Berbasis Thermoelectric*. Universitas Sanata Dharma : Yogyakarta

- Mainil, Rahmat Iman., Azridijal Aziz dan Afdhal Kurniawan M. 2015. *Penggunaan Modul Thermolectric Sebagai Elemen Pendingin Box Cooler*. Seminar Nasional ITENAS : Bandung
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. *Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- Munis, Kristoforus Agastya. 2013. *Karakteristik Generator Termoelektrik*. Universitas Sanata Dharma : Yogyakarta
- Nugroho, Wahyu. 2016. *Rancang Bangun Alat Pendingin Minuman Portable Menggunakan Peltier*. Universitas Muhammadiyah Pontianak : Pontianak
- Purwanto, Edi dan Kemas Ridhuan. 2014. *Pengaruh Jenis Refrigerant Dan Beban Pendinginan Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin*. Universitas Muhammadiyah Metro : Lampung
- Selviana, Windy. 2017. *Analisa Kinerja Kotak Pendingin dan Penghangat Menggunakan Modul Termoelektrik TEC-12706*. Universitas Lampung : Lampung
- Setyadi, Andreas Hermawan. 2014. *Pendingin Air Peltier Dengan Rangkaian Kaskade Paralel*. Universitas Sanata Dharma : Yogyakarta
- Tellurex Corporation. 2010. *Frequently Asked Questions About Our Cooling And Heating Technology*. www.tellurex.com

Tulak, Alden. 2013. *TEG Dengan 7 Termoelektrik Rangkaian Seri Untuk Charger Handphone*. Universitas Sanata Dharma : Yogyakarta

Zacharias, Samuel Victor. 2013. *Alat Pendingin Air Menggunakan 4 Peltier*. Universitas Sanata Dharma : Yogyakarta

