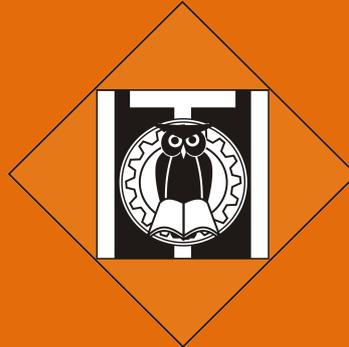


**LAPORAN AKHIR PENELITIAN
DANA INTERNAL PERGURUAN TINGGI**



**PROTOTYPE SISTEM PENDINGIN RAMAH LINGKUNGAN
BERBASIS SISTEM TERMOELEKTRIK**

**Ketua : Jones Victor Tuapetel, ST, NIDN. 0322096802
MT, PhD, IPM**

**Anggota : Dipl. Ing M. Kurniadi Rasyid NIDN. 0303116601
Yogi Suryono NRP. 1121600035**

**Dibiayai oleh:
Dana Pengembangan Penelitian Institusi
Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 014/KP/PRPM-PP/ITI/IV/2021**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
September, 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Prototype Pendingin Ramah Lingkungan Berbasis Sistem Termoelektrik
Jenis Penelitian^{a)} : Terapan
Bidang Penelitian^{b)} : Mechanical and Industrial Engineering
Tujuan Sosial Ekonomi^{c)} : Applied sciences and technologies
Peneliti
Nama Lengkap : Jones Victor Tuapetel, ST, MT, PhD, IPM
NIDN : 0322096803
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Mesin
e. Nomor HP : 081282868826
f. Alamat Surel(e-mail) : jvictor.tuapetel@iti.ac.id
Anggota Peneliti 1
a. Nama Lengkap : Dipl. Ing. M. Kurniadi RAsyid
b. NIDN : 0303116601
c. Institusi : Institut Teknologi Indonesia
Anggota Mahasiswa
a. NamaLengkap : Yogi Suryono
b. NRP : 1121600035
Institusi Sumber Dana^{d)} : Internal Perguruan Tinggi – Institut Teknologi Indonesia
BiayaPenelitian : Rp. 8.000.000.-
Kerjasama Mitra : -

Kota Tangerang Selatan, 7 September 2021

Mengetahui,

Program Studi Teknik Mesin

Ketua



(Jones Victor Tuapetel, ST, MT, PhD)
NIDN: 0322096803



Ketua Tim

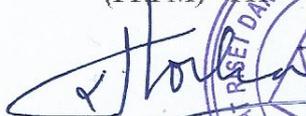


(Jones Victor Tuapetel, ST, MT, PhD)
NIDN: 0322096803

Menyetujui,

Kepala

Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat
(PRPM) - ITI



(Dr. Ir. Joesfianingsih, MT)
NIDN: 0310076406



PRAKATA

Puji Syukur kehadiran Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, dan petunjuk Nya sehingga Laporan Akhir yang berjudul Prototype Pendingin Ramah Lingkungan Berbasis Sistem Termoelektrik dengan Dana Internal Perguruan Tinggi bagi Dosen di Institut Teknologi dengan Nomor Kontrak 014/KP/PRPM-PP/ITI/IV/2021 dapat diselesaikan. Terima kasih kepada Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat ITI yang sudah mengupayakan adanya Hibah Penelitian Internal ini. Luaran penelitian juga dapat ditingkatkan dengan kegiatan seperti ini dan peringkat institusi bisa lebih baik lagi.

Semoga penelitian ini bermanfaat dan dapat terus dikembangkan dan diaplikasikan dalam suatu produk untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat pengguna.

Tangerang Selatan, 4 September 2021
Peneliti

Jones Victor Tuapetel

ABSTRAK

Dalam perkembangannya mesin pendingin kian membaik karena pada masa sebelumnya, medium yang digunakan oleh mesin pendingin menggunakan fluida kerja gas refrigerant. Namun kini medium pendinginan telah dikembangkan dengan gas refrigerant yang ramah lingkungan untuk mencegah kerusakan lingkungan, salah satu inovasi adalah prinsip termoelektrik. Termoelektrik generator (TEG) merupakan sebuah perangkat *solid state* yang melakukan konversi energi langsung dari energi panas karena perbedaan suhu menjadi energi listrik berdasarkan Efek Seebeck. Pada penelitian ini akan dilakukan percobaan pada mesin pendingin yang menggunakan konsep termoelektrik dan untuk media pendinginannya menggunakan peltier TEC1-12076, penelitian yang akan dilakukan adalah percobaan dengan pembebanan air dalam botol 600 mL sebanyak dua botol dimasukkan dalam ruangan pendingin dengan dimensi volume sebesar 5.720 cm³ kemudian diukur kinerja mesin menggunakan indikator waktu pendinginan. Hasil dari penelitian ini adalah waktu pendinginan untuk mendapatkan suhu air dalam botol plastik dengan ukuran 600 mL sebanyak 2 botol adalah 20 menit dengan suhu awal pada air dalam botol 29 °C dan suhu akhir setelah 20 menit adalah 14,9 °C.

Kata kunci: Termoelektrik, Refrigerasi, Peltier, TEC1-12076

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	II
Prakata.....	III
Abstrak	IV
Daftar isi	V
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN	2
1.4 MANFAAT.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 SISTEM PENDINGIN TERMoeLEKTRIK	4
2.2. PRINSIP KERJA TERMoeLEKTRIK.....	6
2.3. KINERJA MODUL TERMoeLEKTRIK	10
2.4 PETA JALAN (<i>ROADMAP</i>) PENELITIAN	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. PENJELASAN UMUM	15
3.2 DIAGRAM ALIR	15
3.3 DATA SPESIFIKASI PELTIER TEC1-12076	16
3.4 DIMENSI COOLBOX.....	17
3.5 KOMPONEN KELISTRIKAN	18
3.6 PEMODELAN DAN DESAIN COOLBOX.....	19
3.7 PEMBAGIAN TUGAS PENGUSUL	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 PERHITUNGAN BEBAN <i>COOLBOX</i>	24
4.2 PERHITUNGAN LAJU KALOR PADA <i>HEATSINK</i>	27
4.3 PERHITUNGAN SUHU DAN KECEPATAN PENDINGINAN	29
4.4 PEMBAHASAN.....	30
BAB V KESIMPULAN	32
BAB VI HASIL LUARAN PENELITIAN	33
DAFTAR PUSTKA.....	34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendinginan adalah bidang yang beragam dan mencakup sejumlah besar proses mulai dari pendinginan hingga pengkondisian udara dan dari pendinginan makanan hingga kenyamanan manusia. Oleh karena itu, pendinginan secara keseluruhan tampak rumit karena fakta bahwa termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas selalu dijumpai dalam setiap proses atau aplikasi pendinginan. Untuk itu pemahaman yang baik tentang pengoperasian sistem dan aplikasi pendinginan, pengetahuan yang luas sangat diperlukan.

Proses termal yang melibatkan perpindahan panas dari satu titik ke titik lainnya sering dijumpai pada industri makanan, seperti pada industri lain. Pemanasan dan pendinginan produk makanan cair atau padat, penguapan uap air, dan penghilangan panas yang dibebaskan oleh reaksi kimia adalah contoh umum dari proses yang melibatkan perpindahan panas. Sangat penting bagi teknolog makanan, insinyur pendinginan, peneliti, dan seterusnya, untuk memahami fenomena fisik dan aspek praktis perpindahan panas, bersama dengan beberapa pengetahuan tentang hukum dasar, persamaan yang mengatur, dan kondisi batas terkait.

Seiring perkembangan teknologi dalam bidang teknik pendingin membuat manusia berpikir tentang bagaimana cara manusia membuat suatu alat yang bisa memberikan kemudahan, keandalan, kenyamanan, ekonomis, ramah lingkungan dan sebagainya. Namun di dalam pembuatan teknologi pendingin manusia menyadari bahwa ada hal kerugian, salah satunya yaitu penggunaan kimia yang sering disebut refrigerant. Refrigerant adalah bahan kimia yang digunakan dalam siklus kerja mesin pendingin yang dapat merusak lapisan ozon jika terurai di udara bebas. Hal ini sangat memprihatinkan karena penyebab utama dalam pemanasan global.

Thermoelectric generator adalah suatu alat konversi dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya. Fenomena ini telah dikembangkan menjadi suatu modul sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau perangkat pendingin/pemanas.

Studi tentang pendinginan termoelektrik ini menekankan bahwa sistem TER adalah sistem refrigerasi baru yang akan menjadi alternatif yang lebih baik untuk sistem refrigerasi konvensional. Penelitian dan pengembangan yang dilakukan oleh peneliti yang berbeda pada sistem TER telah ditinjau secara menyeluruh dan disimpulkan bahwa, untuk mencapai COP & kontrol suhu yang lebih baik, kita dapat menggabungkan TER dengan sistem refrigerasi lainnya. Misalnya menggabungkan sistem VCR & TER mengurangi konsumsi energi, memberikan COP tinggi & kontrol suhu yang baik di dalam area berpendingin. Oleh karena itu lebih baik memiliki sistem & perangkat *hybrid* untuk mengurangi konsumsi energi total (Prof. Rajendra. P. Patil, 2017)

Keramik peltier merupakan bahan semikonduktor yang memiliki keunikan bila diberi tegangan. Sisi dingin dari keramik peltier dapat dimanfaatkan sebagai medium pendingin. Prinsip kerja kulkas mini dengan keramik peltier sebagai bahan pendingin adalah memanfaatkan sisi dingin dari keramik peltier. Waktu yang diperlukan untuk suhu terendah adalah 5 menit dengan suhu terendah yang dapat dicapai adalah 12.5 derajat celcius. (Albert Agung YH.2015).

1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Apakah sistem pendinginan yang berbasis pada konsep termoelektrik dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan?
2. Apakah dengan dengan dimensi volume ruang pendingin pada mesin pendingin dan besaran arus listrik yang dialirkan menuju keramik peltier dapat memberikan nilai efisiensi pada mesin pendingin yang menerapkan konsep termoelektrik tersebut?

1.3 Tujuan

Dalam penelitian tugas akhir ini mempunyai tujuan yang bisa menjadi jawaban atas rumusan masalah tersebut di atas. Adapun tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah membuat prototype coolbox mini yang bisa berfungsi sebagai alat pendingin dengan prinsip kerja termoelektrik.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah ketidaktergantungan pada penggunaan refrigeran sebagai fluida kerja sehingga aman terhadap lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendingin Termoelektrik

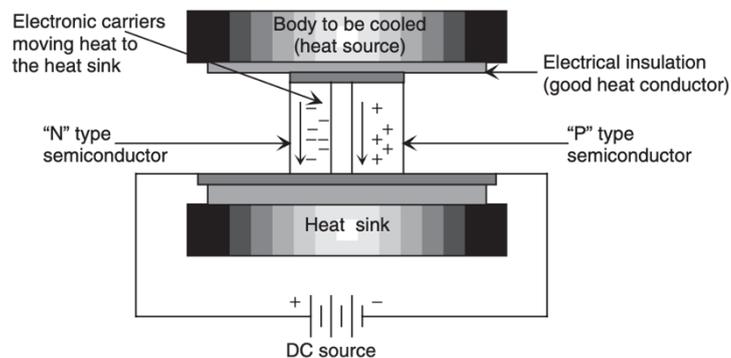
Seperti diketahui, dua metode pendinginan yang umum adalah alami dan mekanis. Dalam pendinginan alami, es telah digunakan dalam pendinginan sejak zaman kuno dan masih banyak digunakan. Dalam teknik alami ini, sirkulasi paksa udara melewati balok-balok es. Sebagian panas dari udara yang bersirkulasi dipindahkan ke es, sehingga mendinginkan udara, khususnya untuk aplikasi pengondisian udara. Dalam refrigerasi mekanis, refrigeran adalah zat yang mampu mentransfer panas yang diserapnya pada suhu dan tekanan rendah ke medium kondensasi; di wilayah transfer, refrigeran berada pada suhu dan tekanan yang lebih tinggi. Dengan cara pemuain, kompresi, dan media pendingin, seperti udara atau air, refrigeran menghilangkan panas dari suatu zat dan mentransfernya ke media pendingin.

Sistem pendingin termoelektrik digunakan untuk memindahkan panas dari satu area ke area lain dengan menggunakan energi listrik. Energi listrik, bukan refrigeran, berfungsi sebagai "pembawa". Penggunaan esensial dari sistem termoelektrik telah ada di lemari es portabel, pendingin air, pendingin peralatan ilmiah yang digunakan dalam eksplorasi ruang angkasa, dan di pesawat terbang. Keuntungan utama dari sistem ini adalah tidak ada bagian yang bergerak. Oleh karena itu, sistemnya kompak, senyap, dan hanya membutuhkan sedikit layanan. Pendingin termoelektrik adalah peralatan solid state yang digunakan dalam aplikasi yang memerlukan stabilisasi suhu, siklus suhu, atau pendinginan di bawah suhu lingkungan. Ada banyak produk yang menggunakan pendingin termoelektrik, termasuk *charge-coupled device (CCD) cameras*, dioda laser, mikroprosesor, penganalisis darah, dan *portable picnic coolers*. Generator termoelektrik juga diselidiki dalam mode pendinginan / pemanasan.

Termoelektrik didasarkan pada Efek Peltier, yang ditemukan pada tahun 1834, di mana arus DC yang diterapkan pada dua bahan yang berbeda menyebabkan perbedaan suhu. Efek Peltier adalah salah satu dari tiga efek termoelektrik, dua lainnya dikenal sebagai efek Seebeck dan efek Thomson. Sedangkan dua efek

terakhir bekerja pada konduktor tunggal, efek Peltier adalah fenomena persimpangan yang khas. Ketiga efek tersebut dihubungkan satu sama lain melalui hubungan yang sederhana.

Modul termoelektrik tipikal diproduksi menggunakan dua wafer keramik tipis dengan serangkaian bahan semikonduktor telluride bismut mengandung P dan N yang diapit di antara keduanya. Bahan keramik di kedua sisi termoelektrik menambah kekakuan dan isolasi listrik yang diperlukan. Bahan tipe N memiliki kelebihan elektron, sedangkan bahan tipe P memiliki kekurangan elektron. Satu P dan satu N membentuk pasangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Penampang melintang suatu pendingin termoelektrik

Pasangan termoelektrik secara elektrik dalam seri dan termal secara paralel. Sebuah modul termoelektrik dapat memuat satu hingga beberapa ratus pasangan. Ketika elektron berpindah dari material tipe P ke material tipe N melalui konektor listrik, elektron melompat ke keadaan energi yang lebih tinggi dan menyerap energi panas (sisi dingin). Melanjutkan melalui kisi material, elektron mengalir dari material tipe N ke material tipe P melalui konektor listrik, turun ke keadaan energi yang lebih rendah dan melepaskan energi sebagai panas ke heat sink (sisi panas).

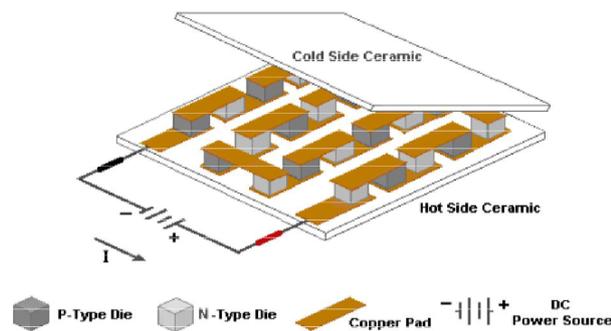
Termoelektrik dapat digunakan untuk memanaskan dan mendinginkan, tergantung pada arah arus.

Dalam aplikasi yang membutuhkan pemanasan dan pendinginan, desain harus fokus pada mode pendinginan. Penggunaan termoelektrik pada mode pemanasan sangat efisien karena semua pemanasan internal (panas Joulian) dan beban dari sisi

dingin dipompa ke sisi panas. Ini mengurangi daya yang dibutuhkan untuk mencapai pemanasan yang diinginkan.

2.2 Prinsip Kerja Termoelektrik

Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan efek *Seebeck* yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Adapun rangkaian modul termoelektrik pada Gambar 2.2.

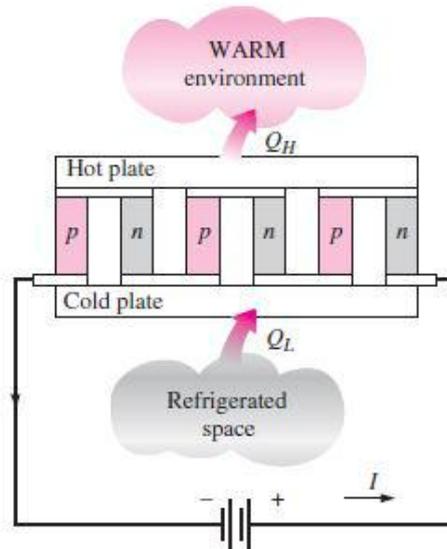


Gambar 2.2 Model rangkaian modul termoelektrik
(Alaoui, 2011)

Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 2.2), akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap.

Sebuah rangkaian pendingin termoelektrik sederhana menggunakan bahan semikonduktor ditunjukkan pada Gambar 2.3. Kalor yang diserap dari daerah dingin sebesar Q_L dan kalor yang dilepas ke lingkungan sebesar Q_H . Perbedaan antara besar Q_H dan Q_L adalah besarnya daya listrik bersih yang perlu diberikan pada termoelektrik. Mesin pendingin termoelektrik saat ini tidak dapat bersaing

dengan sistem pendingin kompresi uap karena COP yang rendah, tetapi termoelektrik banyak tersedia dipasaran dan bagaimanapun lebih disukai dalam beberapa aplikasi karena memiliki ukuran kecil, simple, tidak berisik, dan sudah teruji (Çengel and Boles, 2006).



Gambar 2.3. Rangkaian mesin pendingin termoelektrik
(Cengel, 2006)

Keuntungan termoelektrik dibanding teknologi pendingin aktif yang lain:

1. Biaya yang murah dan jangka waktu *service* yang lama.
2. Konsumsi energi yang rendah.
3. Tidak dibutuhkan *skill* khusus untuk instalasi dan *service*.
4. Ramah lingkungan dan aman.
5. Daya pendinginan dapat dikontrol dengan sangat baik

Dari sumber arus DC yang terhubung seperti pada Gambar 2.4, elektron akan keluar dari kutub negatif dan akan tertarik ke arah kutub positif sehingga aliran elektron akan searah dengan jarum jam. Dengan aliran elektron yang melalui semikonduktor tipe-N, panas akan diserap pada sisi yang di bawah dan secara aktif dipindahkan ke sisi atas.



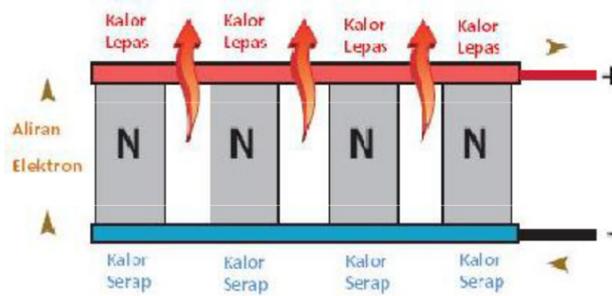
Gambar 2.4. Arah aliran *elektron* pada semikonduktor tipe N (Tellurex, 2010)

Pada termoelektrik semikonduktor tipe-P juga memiliki peranan untuk menghasilkan pembawa muatan yang dikenal dengan “hole”, yang berfungsi untuk membantu elektron untuk bergerak bebas dalam sirkuit ketika diberikan tegangan. Arus positif yang dihasilkan oleh kutub positif dari sumber DC dan tertarik ke kutub negatif. “Hole” tadi bergerak berlawanan arah dengan elektron yang dihasilkan oleh semikonduktor tipe-N. Sehingga semikonduktor tipe-P ini berfungsi untuk menarik panas atau kalor ke arah kutub negatif (Gambar 2.5).



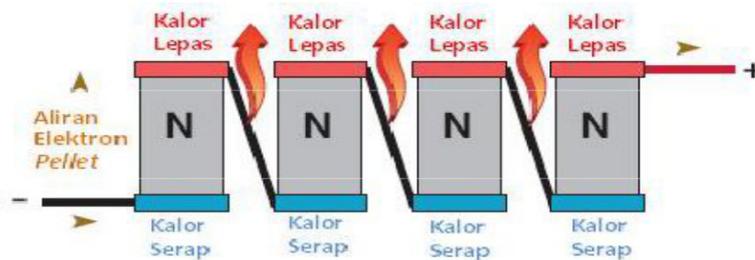
Gambar 2.5. Arah aliran hole pada semikonduktor tipe P (Tellurex, 2010)

Sebuah modul termoelektrik dapat disusun hanya dengan satu jenis semikonduktor saja seperti pada Gambar 2.6, tetapi panas yang dihasilkan jumlahnya tidak besar. Untuk dapat menghasilkan panas dalam kapasitas yang besar dibutuhkan sebuah modul termoelektrik yang memiliki lebih dari satu jenis semikonduktor.



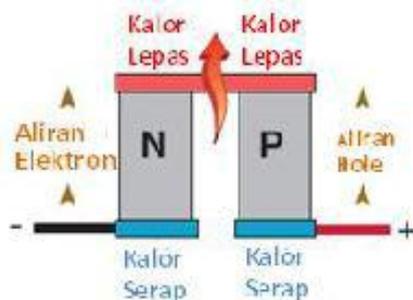
Gambar 2.6. Rangkaian seri modul termoelektrik dengan semikonduktor tunggal (Tellurex, 2010)

Agar susunannya tetap seri dan termal yang dihasilkan tetap paralel (memompakan panas ke arah yang sama), maka dapat dilakukan dengan menghubungkan secara zig zag semikonduktor tunggal tersebut seperti pada Gambar 2.7. Secara teori pemasangan seperti pada gambar dapat dilakukan tetapi hubungan dalam antara tiap-tiap semikonduktor mengakibatkan berkurangnya prestasi dari modul termoelektrik tersebut.



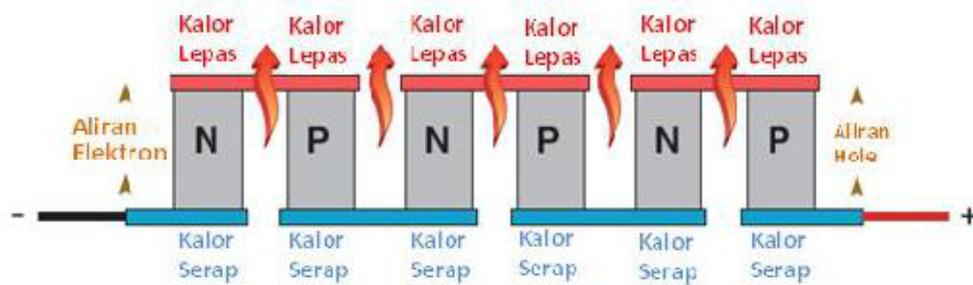
Gambar 2.7. Rangkaian seri-zigzag modul termoelektrik semikonduktor tunggal (Tellurex, 2010)

Penyusunan semikonduktor tipe-N dan P yang membentuk *junction* dan dihubungkan dengan tembaga, merupakan rangkaian modul termoelektrik saat ini.



Gambar 2.8. Modul termoelektrik semikonduktor ganda (Tellurex, 2010)

Dengan semikonduktor tipe-P yang terhubung dengan sumber tegangan positif dan bagian akhir dari semikonduktor tipe-N terhubung dengan sumber tegangan negatif, terjadi fenomena yang menarik. Dimana “holes” yang dihasilkan oleh semikonduktor tipe-P ditarik oleh kutub negatif, dan juga kebalikannya elektron yang dihasilkan oleh semikonduktor tipe-N ditarik oleh kutub positif dari sumber tegangan.



Gambar 2.10. Rangkaian seri modul termoelektrik semikonduktor ganda
(Tellurex, 2010)

Dengan demikian berlangsung terus menerus pada saat diberikan arus, beban pembawa dan kalor yang dihasilkan akan mengalir dengan arah yang sama seperti pada Gambar 2.9 dan 2.10, dengan menggunakan sifat-sifat khusus dari termoelektrik “*couple*”, memungkinkan untuk menggabungkan banyak pellet ke dalam sebuah susunan persegi untuk membentuk sebuah modul termoelektrik. Modul ini dapat menghasilkan kalor dalam jumlah yang dapat diterima, tetapi dengan hubungan kelistrikan yang disusun secara seri, DC *power supplies* dapat digunakan. Modul termoelektrik yang sekarang umum digunakan tersusun dari 254 *pellet* semikonduktor tipe-N dan P yang dapat dioperasikan pada 12-16V DC dan hanya menggunakan arus sebesar 4-5 ampere.

2.3 Kinerja Modul Termoelektrik

Dalam menganalisa kinerja modul termoelektrik dapat diamati bahwa perpindahan panas yang terjadi dari beban kalor menuju sisi dingin modul termoelektrik dapat diketahui dari jumlah kalor yang dipompa oleh efek Peltier, panas yang berpindah dari sisi panas ke sisi dingin karena konduktivitas termal

material termoelektrik, dan sebagian dari total efek Joule *heating* yang ditimbulkan oleh arus listrik terhadap tahanan termal.

Kalor yang “dipompa” oleh efek Peltier

$$q_p = \alpha \cdot T_c \cdot I$$

Dimana

q_p = kalor yang dipompa oleh efek Peltier (W)

α = Koefisien Seebeck (V/K)

T_c = Temperatur sisi dingin (K)

I = Arus listrik yang diberikan pada termoelektrik (A)

Laju perpindahan pada heat sink:

$$q_k = K \cdot \Delta T$$

Dimana

q_k = Laju perpindahan kalor (W/m²)

K = Konduktivitas termal (W/K)

ΔT = Beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (K)

Kalor yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik:

$$q_c = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T - \frac{I^2 \cdot R}{2}$$

Dimana

q_c = kalor yang diserap pada sisi dingin (W)

α = Koefisien Seebeck (V/K)

T_c = Temperatur sisi dingin (K)

I = Arus listrik yang diberikan pada termoelektrik (A)

K = Konduktivitas termal (W/K)

ΔT = Beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (K)

R = Tahanan elektrik elemen (Ω)

Kalor yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik

$$q_h = \alpha + T_c + I - K \cdot \Delta T - \frac{I^2 \cdot R}{2}$$

Dimana:

q_h = kalor yang dilepas pada sisi panas (W)

α = Koefisien Seebeck (V/K)

T_c = Temperatur sisi dingin (K)

I = Arus listrik yang diberikan pada termoelektrik (A)

K = Konduktivitas termal (W/K)

ΔT = Beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (K)

R = Tahanan elektrik elemen (Ω)

Tahanan elektrik elemen

$$R = \frac{2 \cdot p \cdot N}{G}$$

Dimana

R = Tahanan elektrik elemen (Ω)

Daya listrik yang diberikan pada modul termoelektrik

$$p_{in} = I^2 \cdot R$$

COP merupakan ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin terhadap besarnya daya listrik yang masuk (Riffat,2003). Besarnya COP lebih kecil jika dibandingkan dengan COP mesin pendingin kompresi uap (Çengel and Boles, 2006).

$$COP = \frac{q_c}{p_{in}}$$

Kalor yang diserap dari air

$$q_w = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T_{air}}{\Delta_t}$$

Dimana

q_w = kalor yang diserap dari air (W)

m = Massa air (kg)

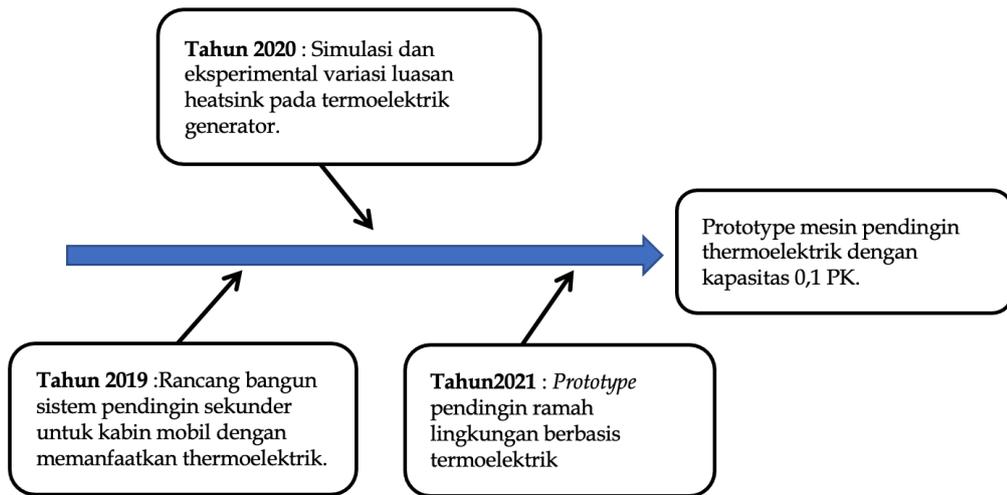
c_p = kalor spesifik air (J/kgK)

ΔT_{air} = selisih temperatur air (K)

Δ_t = selisih waktu (s)

2.4 Peta jalan (*Roadmap*) Penelitian

Riset dan pengembangan tentang termoelektrik yang dilakukan di Program Studi Teknik Mesin ITI baru dilaksanakan pada 2019 berdasarkan referensi riset yang sudah dilakukan sebelumnya oleh berbagai sumber. Termoelektrik sendiri sudah banyak dikembangkan tetapi penggunaannya masih belum secara masif. Suatu ketertarikan melihat prospek dalam penghematan energi atau pemanfaatan energi terbarukan (*renewable energy*) dengan melakukan pengembangan penggunaan termoelektrik. Penelitian selanjutnya dilakukan tahun 2020 dan dilanjutkan tahun ini untuk pendingin termoelektrik. Gambar 2 menunjukkan peta jalan penelitian yang dilakukan sebelumnya dan akan datang dimana diharapkan diperoleh suatu prototype pendingin termoelektrik yang ramah lingkungan dengan kapasitas pendingin yang signifikan.



Gambar 2.11 *Roadmap* penelitian desain dan ujicoba pendingin termoelektrik

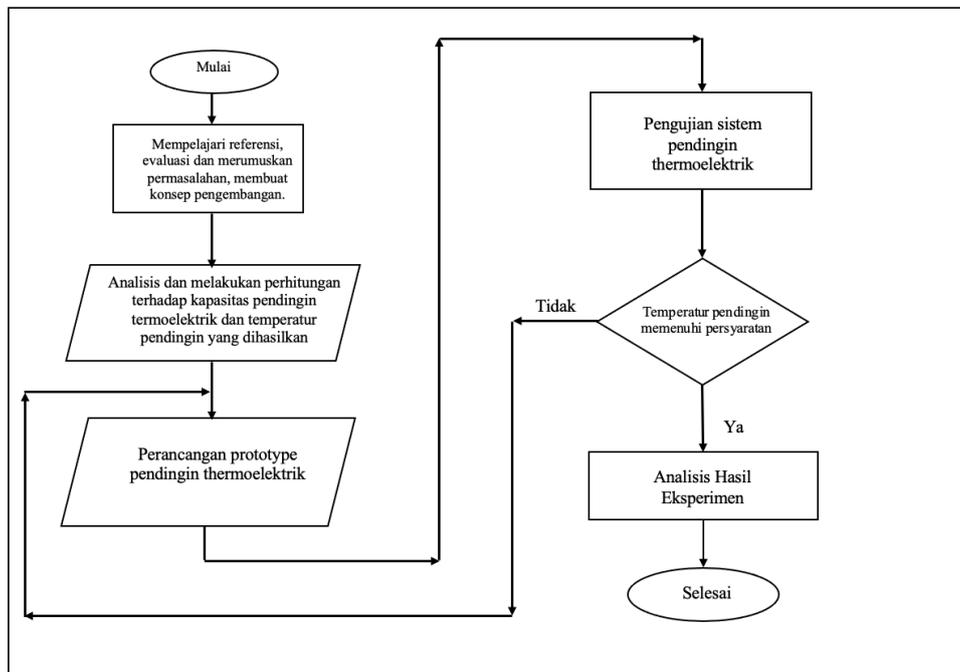
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Penjelasan Umum

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan berupa prototype suatu mini coolbox dan percobaan pada prototype mesin pendingin yang menggunakan konsep termoelektrik dan untuk media pendinginannya menggunakan peltier TEC1-12076. Adapun penelitian yang akan dilakukan adalah percobaan dengan pembebanan air dalam botol 600 mL sebanyak dua botol dimasukkan dalam ruangan pendingin dengan dimensi volume sebesar 5.720 cm³. Target yang diharapkan dari penelitian ini adalah waktu pendinginan untuk mendapatkan suhu air dalam botol plastik dengan ukuran 600 mL sebanyak 2 botol yang ingin dicapai adalah 20 menit dengan suhu spesifik awal pada air dalam botol 25 °C dan suhu akhir setelah 20 menit adalah 15 °C. Media untuk menyerap dan melepaskan kalor adalah menggunakan *fan* baik pada bagian sisi panas maupun pada sisi dingin.

3.2 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir

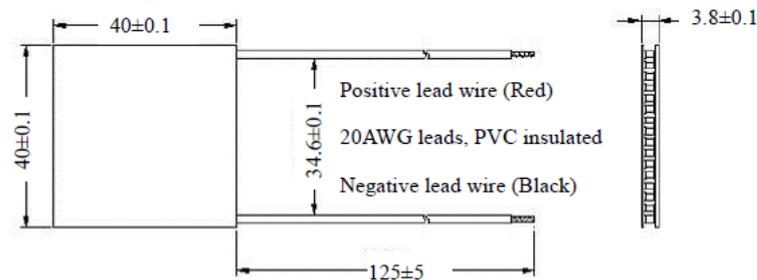
3.3 Data Spesifikasi Peltier TEC1-12076

Data ini didapat dari website distributor komponen peltier sebagai deskripsi spesifikasi peltier. Adapun data spesifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah berikut ini.

Tabel 3.1 *Performance Spesification Sheet*

Th(°C)	27	50	Hot side temperature at environment: dry air, N ₂
DT _{max} (°C)	70	79	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U _{max} (Voltage)	16.0	17.2	Voltage applied to the module at DT _{max}
I _{max} (amps)	6.1	6.1	DC current through the modules at DT _{max}
Q _{Cmax} (Watts)	61.4	66.7	Cooling capacity at cold side of the module under DT=0 °C
AC resistance(ohms)	1.8 ~ 2.2	2.0~2.4	The module resistance is tested under AC

Informasi dari tabel di atas yang akan digunakan pada penelitian ini adalah temperatur kerja dari peltier, daya yang dapat diterima peltier, dan tegangan yang diterima peliter. Sumber data tabel di atas berasal dari TEC *solidstable cooler*.



Gambar 3.2 Dimensi peltier.

Dimensi dari peltier dibutuhkan untuk menentukan dimensi *fan* yang digunakan untuk menyerap dan membuang kalor pada lempengan peltier. Untuk membuat bentuk yang akurat maka ukuran *fan* dan lempengan peltier harus sesuai.

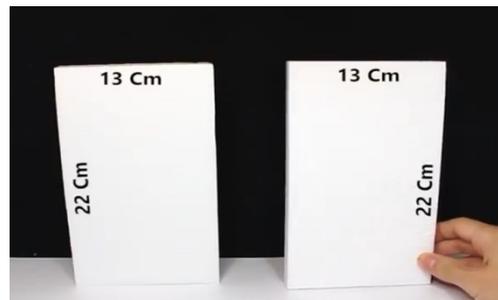


Gambar 3.3 *Heatsink* ditempelkan pada *fan*

Fan berfungsi sebagai penghisap panas yang merambat dari dalam ruang pendingin menuju *heatsink*, panas tersebut dibuang ke lingkungan oleh *fan*. Semakin besar panas yang dibuang ke lingkungan maka semakin efisien proses pendinginan pada mesin.

3.4 Dimensi Coolbox

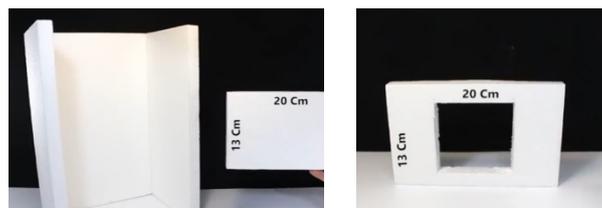
Data volume coolbox didapat dari dimensi aktual pada mesin pendingin. Adapun dimensi dari mesin pendingin adalah sebagai berikut ini.



Gambar 3.4 Dimensi dinding samping bagian mesin pendingin

Pada bagian belakang, samping kiri dan kanan mesin, ketebalan yang digunakan pada mesin adalah sama yaitu 22 cm. Ukuran dari setiap dinding adalah sebagai berikut ini.

Panjang = 22 cm Lebar = 13 cm



Gambar 3.5 Dimensi alas dan tutup pada mesin pendingin

Adapun ukuran dari bagian alas dan tutup pada mesin pendingin adalah sebagai berikut ini.

Panjang = 13 cm

Lebar = 20 cm

Ketebalan = 2 cm

Ukuran alas dan tutup adalah sama namun untuk bagian penutup memiliki lubang di tengah bagian untuk penempatan komponen peltier yang berperan sebagai media pendinginan.

3.5 Komponen Kelistrikan

Komponen kelistrikan yang terdapat pada mesin terdiri dari komponen medium pendinginan yang berupa peltier TEC1-12706, *heatsink*, dan *fan*.



Gambar 3.6 Komponen peltier TEC1-12706, *heatsink*, dan *fan*.

Kemudian komponen kelistrikan yang selanjutnya adalah sensor temperature yang sudah termasuk dengan layar lcd untuk menampilkan temperature dalam mesin secara langsung. Penempatan sensor tepat bersampingan dengan lempeng bagian dalam dari peltier yang menghasilkan dingin pada dalam mesin.



Gambar 3.7 Sensor Temperatur

Terakhir adalah komponen *power supply* untuk membatasi arus listrik yang masuk ke dalam rangkaian listrik termoelektrik ini konstan dengan besar arus 10 Ampere.



Gambar 3.8 *Power Supply* 10 Ampere

Meskipun secara spesifikasi yang ada, peltier TEC1-12706 dapat menerima arus hingga 20 Ampere namun untuk menjaga efisiensi energi listrik dan untuk mengetahui COP yang dihasilkan dengan volume penyimpanan 5.720 cm³ dan arus listrik 10 ampere maka digunakan *power supply* dengan besar arus 10 ampere pada percobaan ini.

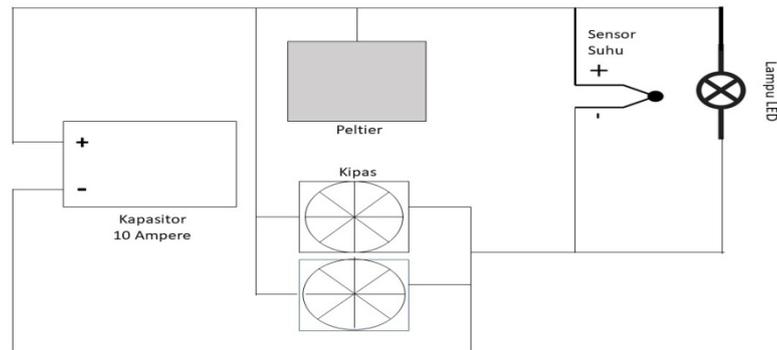
3.6 Pemodelan dan Desain Coolbox

Adapun desain dari mesin pendingin ini adalah seperti pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Coolbox Mini

Wiring diagram pada coolbox



Gambar 3.10 Wiring Diagram

Pembuatan Coolbox Mini dibagi menjadi dua tahapan yaitu sebagai berikut ini.

- Pembuatan bagian *body* coolbox

Terdapat 4 bagian yang akan dibuat diantaranya adalah sebagai berikut ini.

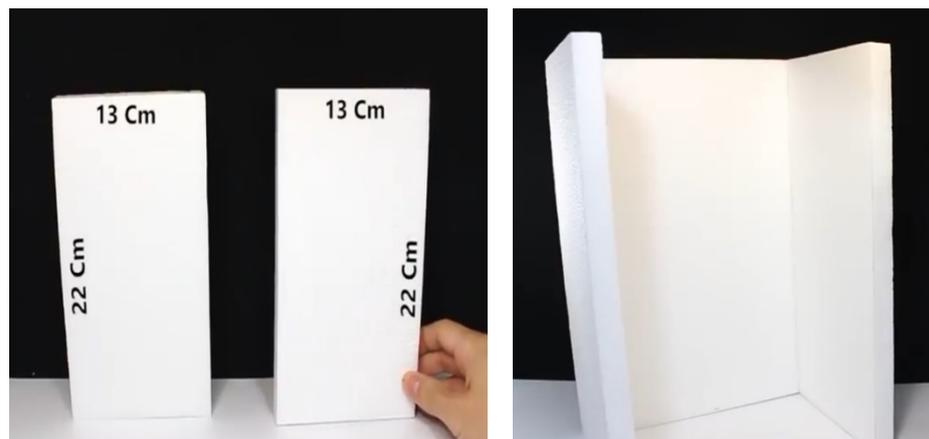
- Bagian dinding

Bagian dinding dibuat untuk sisi belakang, kiri, dan kanan pada mesin.

Ukuran dari dinding adalah

Panjang = 22 cm

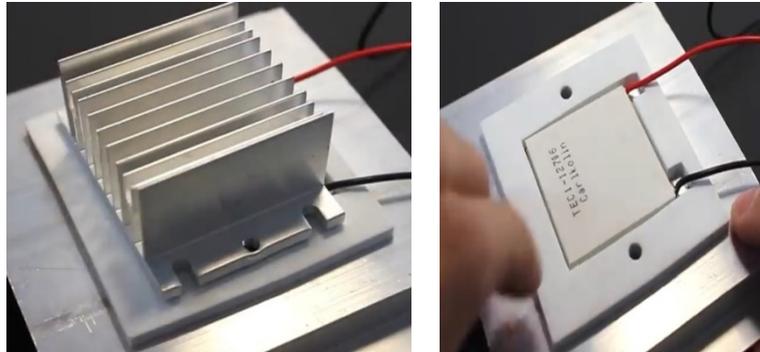
Lebar = 13 cm



Gambar 3.11 Bagian Dinding Mesin Pendingin

- Bagian bracket dan mounting kelistrikan

Adapun bagian dudukan *bracket* digunakan untuk menempatkan komponen peltier yang telah disatukan dengan komponen kelistrikan lainnya.



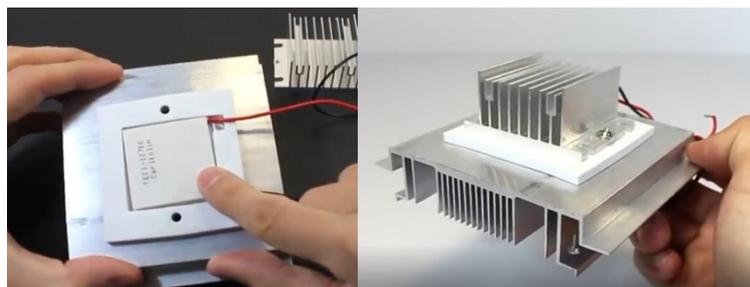
Gambar 3.12 Gambar *mounting* untuk peltier dan *heatsink*

- Pembuatan bagian kelistrikan mesin pendingin

Proses pembuatan komponen kelistrikan dibagi menjadi 4 (empat) tahapan yang tersusun sebagai berikut ini.

- Pemasangan *heatsink* pada peltier

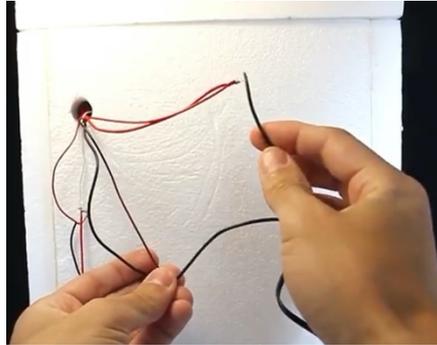
Pemasangan komponen *heatsink* pada bagian *inside* dan *outside* peltier sebagai berikut ini



Gambar 3.13 Komponen peltier dan *heatsink* disusun menjadi satu komponen medium pendingin

- Penyusunan kabel

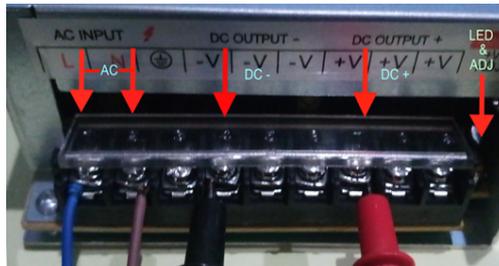
Penyusunan kabel pada komponen elektrik terdiri dari kabel power untuk peltier, *fan*, lampu, dan thermometer sensor disusun menjadi rangkaian yang tertata agar menghindari konsleting dan juga membuat tampilan menjadi lebih rapih.



Gambar 3.14 Penyusunan kabel pada mesin pendingin

- Pemasangan *power supply*

Penyusunan *power supply* sebagai komponen yang berperan menjadi *power supply* energi pada mesin pendingin.



Gambar 3.15 Pemasanan *power supply*

3.7 Pembagian Tugas Pengusul

Pada bagian ini harus dijelaskan secara rinci tugas dari masing-masing pengusul baik ketua maupun anggota pengusul.

Tabel 3.1 Daftar tugas pengurus

No.	Peran (ketua/anggota)	Tugas
1	Ketua	<ul style="list-style-type: none"> • Mengkoordinir rangkaian kegiatan penelitian • Merancang aspek sistem pendingin berbasis termoelektrik • Menyiapkan laporan antara dan akhir serta artikel jurnal ilmiah
2	Anggota 1	<ul style="list-style-type: none"> • Membantu merancang aspek sistem pendingin berbasis termoelektrik • Membantu menyiapkan laporan antara dan akhir serta artikel jurnal ilmiah
3	Anggota 2	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan ujicoba kinerja mesin pendingin • Membantu menyiapkan laporan antara dan akhir serta artikel jurnal ilmiah

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Beban *Coolbox*

Perhitungan beban pada *coolbox* meliputi perhitungan beban produk, perhitungan beban transmisi dan perhitungan beban infiltrasi.

- Beban Produk

Adapun untuk perhitungan beban produk terdapat data data sebagai berikut ini.

Diketahui:

- Massa 2 botol air ukuran 600 ml = 1,225 kg



Gambar 4.1 Massa 2 botol air ukuran 600 ml

- Lama penyimpanan 20 menit = 0,333 Jam
- Kalor jenis air 4200 J/kg.K
- Suhu awal minuman 25°C = 25°C + 273,15 = 298,15 K
- Suhu yang diinginkan 15°C = 15°C + 273,15 = 288,15 K

Beban panas pada produk dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} Q &= m_{botol} \cdot c_{air} \cdot \Delta T \\ &= 1,225 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kg.K} (298,15 \text{ K} - 288,15 \text{ K}) \\ &= 51,450 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{botol} &= \frac{Q_{botol}}{\text{waktu pendinginan} \times 3600} \\ &= \frac{51,450 \text{ J}}{0,333 \times 3600} \end{aligned}$$

$$= 0,42 W$$

Keterangan :

P_{botol} = Beban kalor dari Produk yang akan didinginkan atau disimpan

ΔT = Perubahan suhu produk

m_{botol} = Berat dari produk yang didinginkan (kg)

Q = Jumlah panas (Joule)

- Beban Transmisi

Beban transmisi diperlukan untuk menghitung beban yang berasal dari lingkungan karena merambat masuk melalui dinding *coolbox*, beban panas tersebut mengakibatkan kerugian daya untuk pendingin. Adapun data untuk perhitungan beban transmisi adalah sebagai berikut.



Gambar 4.2 Suhu Awal air minum pada botol

Diketahui :

- Nilai Konduktivitas Polyfoam = 0,02 (W/mK)
- $K_{aluminiumfoil}$ = Konduktivitas aluminiumfoil = 180 (W/mK)
- Suhu ambient lingkungan ($T_{lingkungan}$) = 30°C + 273,15 = 303,15 K
- Suhu air minuman (T_{air}) = 29°C + 273,15 = 302,15 K
- $L_{polyfoam}$ = Tebal polyfoam = 2 cm = 0,02 m
- $L_{aluminiumfoil}$ = Tebal aluminiumfoil = 0,2 mm = 0,0002 m
- $K_{polyfoam}$ = Konduktivitas Polyfoam = 0,02 (W/m. K)
- U = Koefisien perpindahan panas total ($W/m^2 \cdot K$)

Adapun rumus yang dipakai untuk mengetahui beban transmisi pada dinding *coolbox* yaitu ;

$$\frac{1}{U_1} = \frac{L_{polyfoam}}{K_{polyfoam}} + \frac{L_{aluminiumfoil}}{K_{aluminiumfoil}}$$

$$= \frac{0,02 \text{ m}}{0,02 \text{ (W/m.K)}} + \frac{0,0002 \text{ m}}{180 \text{ (W/m.K)}}$$

$$\frac{1}{U_1} = 1,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_2} &= \frac{L_{polyfoam}}{K_{polyfoam}} \\ &= \frac{0,02 \text{ m}}{0,02 \text{ (W/m.K)}} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{U_2} = 1 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$U_2 = \frac{1}{1} = 1 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

• Dinding Atas

$$\begin{aligned} P_{atas} &= U_2 \cdot A_{atas} \cdot (T_{lingkungan} - T_{air}) \\ &= 1 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \cdot (0,16\text{m} \cdot 0,13\text{m}) \cdot (303,15 \text{ K} - 302,15 \text{ K}) \\ &= 0,0208 \text{ W} \end{aligned}$$

• Dinding Samping Kanan Kiri

$$\begin{aligned} P_{samping} &= U_1 \cdot A_{samping \text{ kanan kiri}} \cdot (T_{lingkungan} - T_{air}) \\ &= 1,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \cdot (0,17\text{m} \cdot 0,35\text{m}) \cdot (303,15 \text{ K} - 302,15 \text{ K}) \\ &= 0,0595 \text{ W} \end{aligned}$$

• Dinding Depan Belakang

$$\begin{aligned} P_{depan \text{ belakang}} &= U_1 \cdot A_{depan \text{ belakang}} \cdot (T_{lingkungan} - T_{air}) \\ &= 1,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \cdot (0,20\text{m} \cdot 0,35\text{m}) \cdot (303,15 \text{ K} - \\ &\quad 302,15 \text{ K}) = 0,07 \text{ W} \end{aligned}$$

• Dinding Bawah

$$\begin{aligned} P_{bawah} &= U_1 \cdot A_{bawah} \cdot (T_{lingkungan} - T_{air}) \\ &= 1,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \cdot (0,13\text{m} \cdot 0,20\text{m}) \cdot (303,15 \text{ K} - 302,15 \text{ K}) \\ &= 0,026 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{transmisi} &= P_{atas} + 2P_{samping} + 2P_{depan \text{ belakang}} + P_{bawah} \\ &= 0,0208 + 2(0,0595) + 2(0,07) + 0,026 \\ &= 0,3058 \text{ W} \end{aligned}$$

Keterangan : T = temperatur, A = luas permukaan, P = Beban kalor

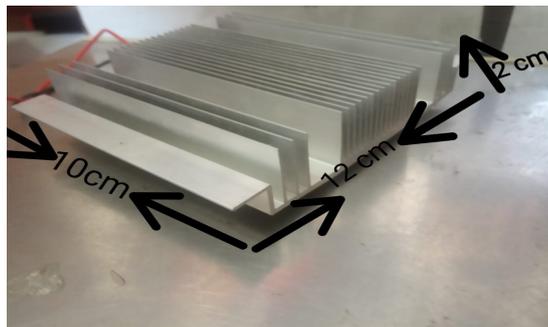
- Total Rugi Sistem

Rugi sistem dihasilkan dari akumulasi beban produk dan beban transmisi. Adapun rumus perhitungan total beban rugi sistem adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}P_{\text{rugi sistem}} &= P_{\text{botol}} + P_{\text{transmisi}} \\ &= 0,42 \text{ W} + 0,3058 \text{ W} \\ &= 0,7258 \text{ W}\end{aligned}$$

4.2 Perhitungan Laju Kalor Pada *Heatsink*

Coolbox menggunakan komponen *heatsink* sebagai komponen penangkap panas dan dilepaskan menuju lingkungan menggunakan fan.



Gambar 4.3 *Heatsink*

- Panjang = 12 cm = 0,12 m
- Lebar = 10 cm = 0,10 m
- Tinggi = 2 cm = 0,02 m
- Tebal sirip = 0,1 cm = 0,001 m
- Tebal penampang bawah = 0,3 cm = 0,003 m
- K aluminium = 237 kW/ml.
- Suhu belakang *heatshink* = 27 °C
- Suhu sisi panas Thermoelektrik tertinggi = 30,39 °C

Adapun perhitungan kalor pada komponen *heatsink* adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}Q &= -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \\ &= -237 \cdot (0,12 \times 0,10) \cdot \frac{27-30,9}{0,001} \\ &= 11091,6 \text{ W}\end{aligned}$$

- Perhitungan Penampang sirip

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Tinggi} &= 0,02 \text{ m} - 0,003 \text{ m} \\ &= 0,017 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang} = 0,12 \text{ m}$$

$$\text{Luas sirip } A = 0,017 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0017 \text{ m}^2$$

$$\text{Tebal sirip} = 0,001 \text{ m}$$

$$Q = 11091,6 \text{ W}$$

Maka ,

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$11091,6 \text{ W} = 237 \cdot (0,0017 \text{ m}) \cdot \frac{\Delta T}{0,001}$$

$$\Delta T = \frac{11,0916}{0,4029}$$

$$\Delta T = 27,52$$

- Perhitungan laju perpindahan panas satu sirip heatsink

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$= 237 \cdot (0,0017 \text{ m}) \cdot \frac{27,52}{0,001}$$

$$= 11087,808 \text{ W}$$

- Q total pada heatsink

$$Q_t = h (N \cdot \eta \cdot A_f + (A_t - N \cdot A_f) \theta)$$

Dimana :

$$h = \text{koefisien konveksi } (2,1 \times 10^{-1})$$

$$N = \text{jumlah sirip } (21)$$

$$\eta = \text{efisiensi}$$

$$A_f = \text{luas permukaan tiap heatsink } (2 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

$$A_t = \text{luas total permukaan heatsink } (2,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$\begin{aligned} \theta &= \text{beda suhu dasar dan lingkungan } ((27^\circ\text{C} = 300,15 \text{ K}) - \\ &\quad (30^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}) = -3 \text{ K} \end{aligned}$$

Jika,

$$\begin{aligned}\eta &= \left(1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)\right) \\ &= \left(1 - \left(\frac{300,15}{303,15}\right)\right) \times 100\% \\ &= 9,89 \%\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}Q_t &= 2,1 \times 10^{-1} (21 \cdot 9,8 \cdot (2 \times 10^{-6}) + ((2,4 \times 10^{-4}) - \\ &\quad 21(2 \times 10^{-6})). -3 \\ &= -3,8304 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

- Total laju pada *heatsink*

$$\begin{aligned}&Heatsink \text{ bawah} + Heatsink \text{ sirip} \\ &= 11087,808 + (-3,8304 \times 10^{-5}) \\ &= 11087,807 \text{ W}\end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Suhu dan Kecepatan Pendinginan

Untuk menghitung suhu dan kecepatan pendinginan, menggunakan asumsi kondisi ideal dengan sisi panas dengan suhu 30 ° C, sehingga perhitungannya:

$$\begin{aligned}\text{Sisi medium dingin } (T_m) &= \text{sisi panas} - 35 \text{ }^\circ \text{C} \\ &= 30 \text{ }^\circ \text{C} - 35 \text{ }^\circ \text{C} \\ &= -5 \text{ }^\circ \text{C}\end{aligned}$$

Suhu - 5 ° C merupakan suhu yang cukup untuk mendinginkan botol berisi air di dalam *coolbox*. Sedangkan untuk kecepatan pendinginan, dengan menggunakan persamaan Planck didapat hasil sebagai berikut ini.

$$\text{Kalor laten air } (\lambda) = 336 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Massa jenis air } (\rho) = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Titik beku air } (T_f) = 0 \text{ }^\circ \text{C}$$

$$\text{Suhu medium pendingin } (T_m) = -5 \text{ }^\circ \text{C}$$

$$\text{Koefisien perpindahan panas } (h) = 0,02512 \text{ W/mK}$$

$$\text{Konduktivitas termal bahan } (K) = 1,0810 \text{ W/mK}$$

$$t_f = \frac{\lambda \rho}{T_f - T_m} \cdot \left(\frac{P \cdot L}{h} + \frac{P \cdot L^2}{K} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{336000 \cdot 10^3}{0 - (-5)} \left(\frac{0,2}{0,3 \cdot 2,9 \cdot 273} + \frac{0,2^2}{16 \cdot 150 \cdot 273} \right) \\
&= 56997,34748 \text{ s} \\
&= 15,6 \text{ menit}
\end{aligned}$$

4.4 Pembahasan

Proses pembuatan coolbox dilakukan berdasarkan perancangan dan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk meneliti kerja mesin pendingin pada percobaan ini diperlukan alat alat penunjang penelitian. Adapun alat alat tersebut adalah sebagai berikut ini.

- a. Thermometer
- b. Voltmeter
- c. *Stopwatch*

Proses percobaan dilakukan dengan menyalakan mesin pada ruangan agar temperatur dari ruangan tercapai sebesar 25 °C sampai dengan 30,5 °C. Selanjutnya mengukur temperature air pada botol air mineral yang dijadikan sampel medium yang didinginkan menggunakan mesin pendingin. Adapun temperature daripada air dalam botol minuman adalah 29°C.

Setelah semua tahap akhir percobaan telah tersedia kemudian percobaan dilakukan dengan cara mendinginkan kedua botol air minuman dalam mesin pendingin hingga menghabiskan waktu 20 menit. Berdasarkan percobaan tersebut didapatkan data data percobaan adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4.2 Tabel Percobaan Mesin Pendingin

Waktu (menit)	Arus Listrik (Ampere)	Temperatur (° Celcius)
0	10 A	30,5
5	10 A	28.8
10	10 A	25
15	10 A	17
20	10 A	14,9

Data Tabel 4.2 didapatkan berdasarkan hasil percobaan mesin pendingin. Percobaan pada mesin pendingin didapatkan adalah pada menit ke 20 dimana temperatur pada air yang mencapai 14,9 °C tercapai dengan arus sebesar 10 ampere.

Penggunakan satu unit perangkat termoelektrik yang berupa satu lembar keramik peltier TEC1-12076, mini fan 4 cm dan 9,5cm dan heatsink dengan ukuran 6 cm dan 10 cm didapatkan *coolerbox* dapat mencapai suhu pendingin, dimana pada waktu pendinginan selama 20 menit mesin dapat mendinginkan air dalam botol kemasan 600 mL pada temperature air 14,9°C.

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan pada penelitian ini didapatkan kesimpulan adalah prototype coolbox dengan prinsip termoelektrik dapat mendinginkan air hingga 14,9 °C dalam waktu 20 menit dengan arus listrik 10 Ampere. Material yang digunakan untuk dinding coolbox memiliki pengaruh terhadap beban pendinginan 0,7258 W. Untuk membuat mesin pendingin yang optimal maka menggunakan polyfoam dengan konduktifitas termal sebesar 0,002 W/mK adalah material yang bisa digunakan sebagai penyusun mesin pendingin.

BAB VI

HASIL LUARAN PENELITIAN

Luaran dari penelitian ini adalah artikel yang akan dipublikasikan pada International Journal of Renewable Energy Development, Universitas Diponegoro, eISSN: 22524940.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Albert.2015. Unjuk Kerja Aplikasi Sistem Pendinginan Pada Alat Elektroforesis Termoelektrik. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Prof. Rajendra. P. Patil, Pradhyumna Suryawanshi, dkk. 2017. Thermoelectric Refrigeration Using Peltier Effect. IJESRT ISSN: 2277-9655.
- Cengel. Yunus A and Michael A Boles, Thermodynamics: An Engineering Approach 5th edition.: McGraw-Hill, 2006
- Alaoui, C. 2011. Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation. International Journal of Engineering. 5:114-121.
- Rosa, Aldo Viera da. 2009. Fundamentals of Renewable Energy Processes, second edition. Academic Press. United States of America. Sulistiowati, Ni Made Dian. Implementasi Pendingin Termoelektrik Pada Teknologi Cryosurgery. Program Magister Keperawatan Fakultas Ilmu Keperawatan Universitas Indonesia.
- Tellurex. 2010. Introduction to Thermoelectric. 1462 International Drive. Traverse Citi, MI. (<http://www.tellurex.com>). Termoelektrik. 2012. Pemanfaatan Energi Panas Menjadi Energi Listrik. (<http://majalahenergi.com>, diakses pada 1 Agustus 2012).