Digital Repository Universitas Jember

ANALISIS PENGARUH LUASAN *HEATSINK* TERHADAP UNJUK KERJA *PORTABLE MINI REFRIGERATOR*

SKRIPSI

Oleh
Harsono Prasetyo
NIM 111910101097

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015

Digital Repository Universitas Jember

ANALISIS PENGARUH LUASAN *HEATSINK* TERHADAP UNJUK KERJA *PORTABLE MINI REFRIGERATOR*

SKRIPSI

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

Oleh
Harsono Prasetyo
NIM 111910101097

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015

Digital Repository Universitas Jember

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu dan Ayah tercinta Lissiani dan Agus Irianto S.P., yang selalu memberikan semangat, dorongan, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal serta doa yang tiada hentinya tercurahkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Kedua kakak saya tercinta Intiyas Puspita, S.E., dan Lea Dwi Astuti, S.E., yang selalu memberikan dorongan, semangat, dan kasih sayang serta doa dengan sepenuh hati;
3. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menberikan ilmunya, semoga dapat bermanfaat dan berguna dikemudian hari. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Ir. Fx. Kristianta M.Eng. selaku Dosen Penguji anggota yang telah banyak sekali saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Semua guru mulai dari guru TK, SD, SMP, maupun SMA yang tidak kenal lelah menularkan ilmunya, membimbing serta memberikan arahan yang terbaik hingga saya ke jenjang perguruan tinggi;
5. Teman-temanku yang telah membantu penelitian ini terselesaikan yaitu Itok Denis, M. Abduh, Ario, Mirza, dan Amius saya ucapkan terima kasih banyak dan semoga kebaikan kalian akan dibalas dengan kebaikan pula oleh-Nya. Serta teman-teman Mech-XI yang tidak disebutkan satu-persatu namanya, saya ucapkan terima kasih atas dukungannya, kekompakannya sehingga kita menjadi keluarga hingga saat ini dan sampai selamanya (Solidarity Forever).

Digital Repository Universitas Jember

MOTTO

Tuhan adalah baik bagi orang yang berharap kepada-Nya,
bagi jiwa yang mencari Dia
(Ratapan 3:25)

Lembaga Alkitab Indonesia. 2000. Alkitab dengan Kidung Jemaat. Jakarta: Percetakan Lembaga Alkitab Indonesia

Digital Repository Universitas Jember

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Harsono Prasetyo

NIM : 111910101097

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "ANALISIS PENGARUH LUASAN *HEATSINK* TERHADAP UNJUK KERJA *PORTABLE MINI REFRIGERATOR*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 28 Juli 2015

Yang menyatakan,

(Harsono Prasetyo)

NIM 111910101097

Digital Repository Universitas Jember

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH LUASAN *HEATSINK* TERHADAP UNJUK KERJA *PORTABLE MINI REFRIGERATOR*

Oleh

Harsono Prasetyo

NIM 111910101097

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

Digital Repository Universitas Jember

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisis Pengaruh Luasan *Heatsink* Terhadap Unjuk Kerja *Portable Mini Refrigerator*" yang telah diuji dan disahkan pada:

hari, tangga : Selasa, 28 Juli 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,	Sekretaris,
Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc NIP. 19680617199501 001	Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. NIP. 196812071995121002
Anggota I,	Anggota II,
Hary Sutjahjono, S.T., M.T NIP. 196812051997021002	Ir. Fx. Kristianta M.Eng NIP. 196501202001121001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T
NIP. 196104141989021001

Digital Repository Universitas Jember

RINGKASAN

Analisis Pengaruh Luasan *Heatsink* Terhadap Unjuk Kerja *Portable Mini Refrigerator*; Harsono Prasetyo, 111910101097; 2015; 72 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Heatsink atau *fin* adalah bagian terpenting dalam proses pendingingan termoelektrik yang salah satu fungsinya sebagai pemindah panas dari sisi panas termoelektrik ke lingkungan. Agar proses pendinginan dapat berjalan dengan maksimal, dibutuhkan luasan *heatsink* yang sesuai dengan kebutuhan elemen termoelektrik.

Dalam penelitian ini, difokuskan tentang pengaruh variasi luasan *heatsink* sisi panas termoelektrik dan variasi temperatur kontrol dalam kotak pendingin terhadap temperatur panas elemen termoelektrik, COP dan efisiensi pendingin. Dengan memvariasikan luasan *heatsink* dan temperatur dalam kotak, didapatkan perbedaan temperatur dan lama proses pendinginan sehingga nantinya akan dapat diketahui nilai COP dan efisiensi maksimum. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah luasan *heatsink* 0,12 m^2, 0,15 m^2, dan 0,19 m^2 serta variasi temperatur 18^oC, 20^oC, 22^oC, dan 24^oC.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember, mulai dari pembuatan alat, pengujian, dan pengambilan data.

Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa kenaikan luasan *heatsink* dan temperatur kontrol akan berdampak kepada penurunan temperatur panas *heatsink*, kenaikan COP, dan kenaikan efisiensi pendinginan. Hal ini dapat dilihat pada temperatur kontrol 24^oC dengan luasan 0.19 m^2 memiliki temperatur *heatsink* panas terendah mencapai 30.8^oC, nilai COP maksimal mencapai 1.61, dan efisiensi tertinggi mencapai 32.02%.

Digital Repository Universitas Jember

SUMMARY

Analysis Effect of Area Heat Sink to Performance of Mini Portable Refrigerator*; Harsono Prasetyo, 111910101097: 72 Pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.*

Heatsink or fin is a important in cooling process of thermoelectric and one its function is transfer heat from thermoelectric to environment. To be able cooling process can work maximum, need heat sink area accordance with thermoelectric necessary.

In this research, focused on influence variation heat sink area thermoelectric and variation temperature control inside box to hot side temperature thermoelectric, COP, and cooling efficiency. With done variation wide area heatsink and temperature control inside box, got difference temperature and cooling time and so, we can knowvalue od COP and maximum efficiency. The variations use in this research are wide area heatsink 0,12 m^2, 0,15 m^2, 0,19 m^2 and temperature control variation 18^{o}C, 20^{o}C, 22^{o}C, 24^{o}C.

This research was doing in the Energy Conversion Laboratory Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember, where the start from manufacture, modification, testing, and take data.

From the results of research found that the increasing wide area heatsink and temperature control got effect to decreasing temperature in side hot heatsink, increasing COP, and increasing efficiency. It can be known from temperature control 24^{o}C with area 0.19 m^2 have temperature hot heat sink minimum 30.8^{o}C, COP value maximum 1.61, and efficiency maximum 32.02%.

Digital Repository Universitas Jember

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "Analisis Pengaruh Luasan *Heatsink* Terhadap Unjuk Kerja *Portable Mini Refrigerator*". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama, Bapak Ir. Fx. Kristianta M.Eng. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Prof. Dong Kim, Ph.D. selaku dosen mata kuliah Heat Transfer di *Kyungpook National University* yang selalu memberikan masukan terhadap skripsi ini;
5. Ibu dan Ayah tercinta Lissiani dan Agus Irianto yang telah memberikan dan melakukan segalanya untuk penulis;
6. Kedua kakakku tersayang Intiyas Puspita dan Lea Dwi Astuti yang telah memberikan dorongan baik secara moril maupun materil untuk penulis;
7. Keluarga besarku baik yang ada di Kalimantan maupun di Kediri yang telah memberikan semangat terhadap penulis;
8. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;

Digital Repository Universitas Jember

9. Itok Dennis, M. Abduh, Ario, dan Amius yang selalu meluangkan waktu dalam pengambilan perakitan alat dan pengambilan data skripsi ini;
10. Kawan-kawan Mechanical-XI dan kawan-kawan jurusan teknik mesin universitas jember yang telah mengajariku arti kebersamaan dan saling membutuhkan satu sama lain;
11. Kawan-kawan Lab. *Fusion and Design*, Lab. PLC, dan Lab. *Mechatronic Kyungpook National University* yang selalu memberikan masukan dan pandangan terhadap perkembangan teknologi *thermoelectric* saat ini.
12. Kakak dan adik kos dokter gigi Patrang;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sebagai manusia biasa yang tak lepas dari kekhilafan dan kekurangan, oleh karena itu diharapkan adanya kritik, saran, dan ide yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

.

Jember, Juli 2015 Penulis

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
PERSEMBAHAN ii
MOTO iii
PERNYATAAN iv
PEMBIMBING v
PENGESAHAAN vi
RINGKASAN vii
PRAKATA ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
BAB 1. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian 3
1.4.1 Tujuan 3
1.4.2 Manfaat 4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Penelitian Terdahulu 5
2.1.1 *Performance Evaluation of a Thermoelectric Refrigerator* 5
2.1.2 *A Review on Development of Thermoelectric Refrigerator* 6
2.1.3 *Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance* ... 8

Digital Repository Universitas Jember

2.2 Definisi Efek Termoelektrik 9
2.2.1 Efek Seebeck 9
2.2.2 Efek Joulean 10
2.2.3 Efek Peltier 11
2.2.4 Efek Konduksi Panas 12
2.2.5 Efek Thomson 12
2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik 12
2.3.1 *Figure of Merit* (*Z*) 14
2.3.2 Konduktansi Panas Termoelektrik 16
2.3.3 Koefisien Seebeck Bahan (α_{pn}) 17
2.3.4 COP (*Coefficient of Performance*) 17
2.4 Perpindahan Kalor 18
2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi 18
2.4.2 Faktor Bentuk Konduksi 18
2.5 Daya Lisrik 19
2.6 Beban Pendinginan 19
2.7 Efisiensi Pendinginan Sistem 20
2.8 Modul Termoelektrik 21
2.9 *Heatsink* 22
2.9.1 Cara Kerja *Heatsink* 24
2.9.2 *Profile Heatsink* 25
2.10 Kotak Pendingin 27
2.11 *Thermal Paste* 28
2.12 Aplikasi Termoelektrik 29
BAB 3. METODE PENELITIAN 31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 31
3.2 Alat dan Bahan 31
3.2.1 Alat dan Instrumen Penelitian 31
3.2.2 Bahan Penelitian 32

Digital Repository Universitas Jember

3.3 Metode Penelitian 33
3.4 Prosedur Penelitian 33
3.4.1 Persiapan Alat Pengujian 33
3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian 33
3.4.3 Tahapan Pengambilan Data 33
3.5 Rangkaian *Portable Mini Refrigerator* 34
3.6 Variabel 36
3.6.1 Variabel Bebas 36
3.6.2 Variabel Terikat 36
3.7 Diagram Alir 37
2.13 Hipotesis 38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Data Hasil Pengujian 39
4.2 Pembahasan 39
4.2.1 Analisis Luasan *Heatsink* terhadap temperatur (T4) 39
4.2.2 Analisis COP 41
4.2.3 Analisis Efisiensi Sistem 43
BAB 5. PENUTUP 46
5.1 Kesimpulan 46
5.2 Saran 47
DAFTAR PUSTAKA 48
LAMPIRAN 50

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR GAMBAR

Halaman

2.1	Grafik hubungan temperatur, arus listrik, dan COP	5
2.2	Grafik hubungan waktu pendinginan, arus listrik, tegangan listrik, dan temperatur	7
2.3	Grafik pengaruh waktu terhadap COP	8
2.4	Rangkain efek Seebeck	9
2.5	Efek Peltier	11
2.6	Skema aliran elektron	13
2.7	Hubungan temperatur dan efisiensi dengan material tipe-P	15
2.8	Hubungan temperatur dan efisiensi dengan material tipe-N	15
2.9	Termoelektrik	22
2.10	Bentuk *profile heatsink*	25
2.11	*Heatsink*	27
2.12	Kotak pendingin	28
2.13	*Thermal Paste*	28
3.1	Dimensi *heatsink*	32
3.2	Kotak Pendingin	32
3.3	Skema rangkaian *Portable Mini Refrigerator*	34
3.4	Titik pengukuran temperatur	35
3.5	*Heatsink* tampak samping	35
3.6	Kotak pendingin tampak samping	36
3.7	Diagram alir penelitian	37
4.1	Grafik temperatur kontrol terhadap temperatur *heatsink* panas	40
4.2	Grafik hubungan luasan heat sink dan temperatur kontrol terhadap COP	42
4.3	Grafik luasan heat sink dan temperatur kontrol terhadap effisiensi	44

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR TABEL

Halaman

2.1	Pengaruh perbedaan temperatur terhadap COP	6
2.2	Nilai kalor jenis menurut jenis zatnya	20
2.3	Spefikasi TEC 1 12706	23
4.1	Hasil rata-rata pengujian	39
4.2	Hasil perhitungan COP	41
4.3	Hasil perhitungan efisiensi sistem	43

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

LAMPIRAN 1. Tabel data 50

A1.1 Hasil pengujian pertama menit ke-1 50

A1.2 Hasil pengujian pertama menit ke-5 50

A2.1 Hasil pengujian kedua menit ke-1 51

A2.2 Hasil Pengujian kedua menit ke-5 51

A3.1 Hasil pengujian ketiga menit ke-1 52

A3.2 Hasil pengujian ketiga menit ke-5 52

A4.1 Hasil rata-rata keseluruhan 53

B1.1 COP termoelektrik 53

B1.2 Efisiensi sistem 54

B1.3 Hasil rata-rata arus dan tegangan listrik 54

LAMPIRAN 2. Perhitungan 55

A. COP dan efisiensi 0.12 m^2 temperatur kontrol 18^oC 55

B. COP dan efisiensi 0.15 m^2 temperatur kontrol 18^oC 58

C. COP dan efisiensi 0.19 m^2 temperatur kontrol 18^oC 62

LAMPIRAN 3. Gambar Pengujian 66

Digital Repository Universitas Jember

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peralatan teknologi modern sangat membantu kehidupan manusia. Salah satu peralatan modern yang berkembang dari waktu ke waktu adalah mesin pendingin. Dalam perkembangannya, mesin pendingin mempunyai berbagai jenis seperti: pendinginan vakum dan siklus kompresi uap. Menurut Agung (2010) jenis siklus refrigerasi kompresi uap merupakan jenis yang paling banyak digunakan karena memiliki keunggulan yaitu fleksibelitas dalam penggunaan dan ukuran yang cukup banyak sehingga tidak memerlukan tempat atau ruangan yang besar. Di pasaran, dimensi refrigerator sangat beranekaragam dari besar, sedang, dan kecil (refrigerator mini). Dari ketiga ukuran tersebut, refrigerator mini tipe *portable* sistem kompresi uap sangat sulit ditemukan di pasaran, sehingga dalam pemenuhan kebutuhan masyarakat masih terhambat atau terkendala. Komponen penyusun *portable* mini refrigerator yang kecil merupakan salah satu faktor kendala dalam pembuatan. Pembuatan komponen kecil harus memerlukan teknologi yang tinggi dan teliti. Dengan penggunaan teknologi tinggi, maka berdampak pada harga jual produk yang tinggi di pasaran. Tingginya teknologi dalam pembuatan *portable mini refrigerator* membuat sistem kompresi uap tidak diminati lagi dan beralih pada pemanfaatan elemen termoelektrik sebagai sumber dingin. *Mini refrigerator* tipe *portable* menggunakan elemen termoelektrik dengan arus listrik DC (*Direct Current*) sangat banyak dicari oleh konsumen yang berlatar belakang kesehatan dan pertanian, karena dapat digunakan untuk menjaga temperatur vaksin dan kultur jaringan tanaman agar tetap rendah selama proses pendistribusian ke daerah pelosok atau pedalaman. Selain itu juga, *portable mini refrigerator* dapat diaplikasikan pada kotak atau *box* pendingin kecil sebagai alat penyimpanan dan pendinginan makanan maupun minuman dalam skala kecil.

Digital Repository Universitas Jember

Teknologi termoelektrik adalah teknologi pendinginan dengan menggunakan efek peltier. Menurut teori Jean-Charles Peltier, efek peltier terjadi jika dua buah metal atau semi konduktor berbeda dialiri arus listrik akan menghasilkan perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur dihasilkan dengan cara menyerap panas disekitar atau dalam kotak pendingin dan dilepaskan sisi lain. Rawat (2013) melakukan penelitian proses pendingin dengan termoelektrik dapat membuat temperatur di dalam kotak tanpa beban turun dari 23^{o}C menjadi 9^{o}C dan menurunkan temperatur 100 ml air dari 23^{o}C menjadi 14^{o}C dalam waktu 30 menit.

Proses pendinginan dengan termoelektrik dipengaruhi oleh banyaknya kalor yang dapat dilepas dari bagian sisi terminal panas. Semakin besar atau banyak kalor yang dilepas, maka temperatur sisi lainnya akan turun. Sebaliknya, jika kalor sisi panas tidak dipindahkan atau dibuang ke lingkungan, maka akan terjadi perpindahan panas secara konduksi yang mengakibatkan terminal dingin ikut menjadi panas. Chakib (2011) melakukan penelitian untuk mengatasi lajunya perpindahan konduksi dari sisi panas ke sisi dingin dengan menambahkan kipas pada *heat sink* sisi panas sehingga temperatur sisi lainnya menjadi lebih rendah. Jugsujinda (2010) meneliti tentang pengaruh lama proses pendinginan dan daya listrik yang digunakan terhadap nilai COP. Dihasilkan nilai COP daya listrik 20 W mengalami penurunan seiring dengan lamanya waktu pendinginan. Selain itu, daya listrik 20 W juga memiliki nilai COP yang lebih tinggi dibandingkan dengan daya listrik 30 W dan 40 W pada saat menit ke-5 sampai menit ke-60.

Melihat dari penelitian dan cara pembuangan panas yang telah dilakukan sebelumnya, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang media perpindahan panas termoelektrik. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh temperatur dingin dalam kotak dan luasan *heatsink* terhadap unjuk kerja *portable mini refrigerator*.

Digital Repository Universitas Jember

1.2 Rumusan Masalah

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

a. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dalam kotak terhadap temperatur *heat sink* terminal panas?
b. Bagaimana pengaruh variasi luasan *heatsink* panas terhadap *Coefficient of Performance* (COP) termoelektrik?
c. Bagaimana pengaruh luasan *heatsink* terminal panas terhadap efisiensi sistem pendingin?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengambilan data dan analisis terdapat beberapa faktor yang tidak dapat terkontrol. Untuk itu perlu diberikan batasan dan asumsi agar mempermudah menganalisis terhadap permasalahan di atas yaitu:

a. Sistem terisolasi sempurna.
b. Temperatur dinding kotak dianggap sama.
c. Kecepatan kipas terminal panas konstan.
d. Daya listrik pada kipas pendingin diabaikan.
e. Perpindahan panas konveksi dari *heatsink* ke lingkungan diabaikan.
f. Arus dan tegangan listrik pada termoelektrik menggunakan hasil rata-rata.
g. Efisiensi alat secara keseluruhan tidak dihitung.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuaan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

a. Mengetahui pengaruh variasi temperatur kontrol dalam kotak terhadap *heat sink* terminal panas.
b. Mengetahui pengaruh variasi luasan *heatsink* terhadap COP.
c. Dapat mengetahui efisiensi sistem.

Digital Repository Universitas Jember

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

a. Menambah informasi tentang termoelektrik.
b. Sebagai informasi pembuatan *portable mini refrigerator* dengan variasi temperatur dalam kotak dan rasio luasan *heatsink*.
c. Dapat mengetahui pengaruh temperatur dalam kotak dan *heatsink* terhadap COP (*Coefficient of Performance*).
d. Membantu perkembangbiakan kultur jaringan jamur kuping (*Auricularia auricular*) dengan kontrol temperatur inkubator.

Digital Repository Universitas Jember

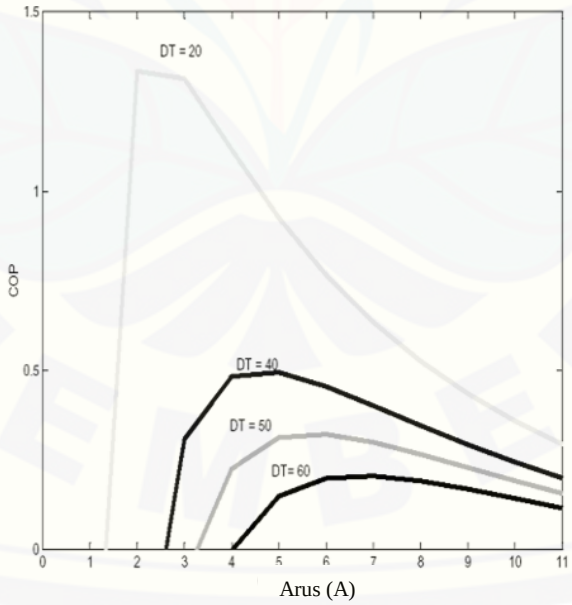
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Untuk memperkuat dan melengkapi data-data penelitian, maka diperlukan keterangan dan informasi dari penelitian terdahulu mengenai perpindahan panas termoelektrik.

2.1.1 *Performance Evaluation of a Thermoelectric Refrigerator*

Penelitian ini dilakukan oleh Onoroh Francis, Chukuneke Jeremiah Lekwuwa, dan Itoje Harrison John (2013) dimana COP (*Coeffisient of Performance*) naik jika temperatur terminal panas pada elemen termoelektrik tidak tinggi. Tinggi rendahnya perbedaan temperatur terminal panas dan dingin dipengaruhi juga oleh arus listrik yang mengalir. Data penelitian tentang perbedaan temperatur, arus listrik, dan COP dapat dilihat pada gambar 2.1 dan tabel 2.1.



Gambar 2.1 Grafik hubungan temperatur, arus listrik, dan COP (sumber: Onoroh, 2013)

Digital Repository Universitas Jember

Tabel 2.1 Pengaruh perbedaan temperatur terhadap COP

S/N	I	COP_{20}	COP_{40}	COP_{50}	COP_{60}
1	1	-0.6743	-4.8201	-6.0956	-7.0813
2	2	1.3336	-0.4829	-1.1341	-1.6730
3	3	1.3135	0.3074	-0.0830	-0.4192
4	4	1.1153	0.4626	0.2249	-0.0029
5	5	0.9250	0.4939	0.3124	0.1491
6	6	0.7651	0.4548	0.3210	0.1989
7	7	0.6337	0.4012	0.2991	0.2049
8	8	0.5252	0.3456	0.2655	0.1912
9	9	0.4348	0.2926	0.2285	0.1686
10	10	0.3585	0.2438	0.1916	0.1425
11	11	0.2934	0.1993	0.1563	0.1155

(Sumber: Onoroh, 2013)

Dari tabel 2.1 menunjukan hubungan antara COP, arus listrik, dan perbedaan temperatur terdapat perbedaan nilai COP yang dipengaruhi oleh arus listrik. COP tertinggi ketika perbedaan temperatur 20^{o}C dan arus listrik 2 ampere. Sedangkan untuk COP yang paling rendah ketika perbedaan temperatur sangat tinggi yaitu 60^{o}C dan arus listrik 1 amper. Perbedaan nilai COP ini terjadi karena pengaruh transfer atau perpindahan panas dari terminal panas menuju terminal dingin beserta kemampuan *heatsink* membuang panas. Arus listrik yang kecil akan mempersulit proses pendinginan karena kurang dari standar kebutuhan elemen termoelektrik, sebaliknya apabila arus listrik terlalu besar akan mengakibatkan panas terlalu tinggi dan mempengaruhi terminal dingin.

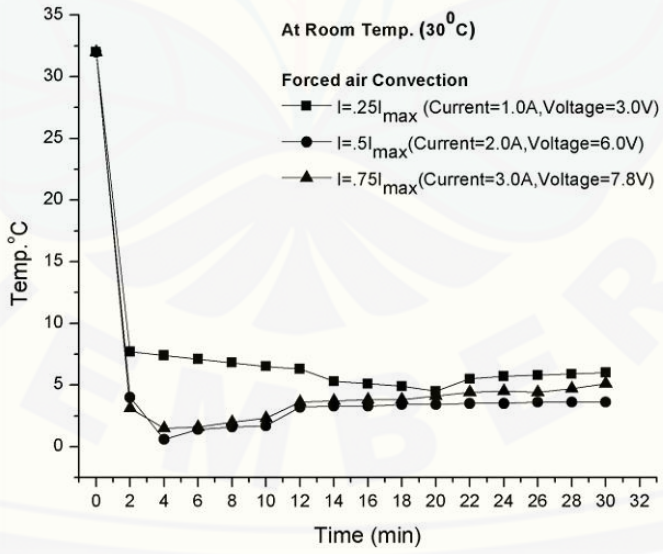
2.1.2 *A Review on Developments of Thermoelecric Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Novel Potential Green Refrigeration and Air Conditioning Techology.*

Penelitian ini dilakukan oleh Manoj Kumar Rawat, Himadri Chattopadhyay, dan Subhasis Neogi (2013) dimana temperatur tinggi pada terminal panas tiga buah elemen termoelektrik dibuang secara paksa oleh hembusan udara dari kipas kepada

Digital Repository Universitas Jember

heatsink yang mengakibatkan perubahan temperatur di dalam kotak pendingin. Variable yang digunakan dalam penelitian adalah perbedaan arus dan tegangan yang berbeda-beda. Arus 1,0 A dan tegangan 3,0 V dapat menghasilkan temperatur 5^{o}C dalam waktu 20 menit sesudah itu temperatur kembali naik. Temperatur pendinginan yang cukup rendah mendekati 0^{o}C terjadi ketika dialiri arus listrik 2.0 A dan tegangan 6,0 V dalam waktu 4 menit. Sedangkan untuk arus 3.0 A dengan tegangan 7.8 V menghasilkan temperatur mendekati 2.5 ^{o}C dalam waktu 2 menit dan kemudian naik seiring bertambahnya waktu.

Temperatur dari ketiga pengujian, menunjukan bahwa arah garis grafik pertama kali cenderung menurun tajam dan kembali naik secara berlahan. Naiknya garis grafik secara berlahan terjadi karena transfer atau perpindahan panas dari terminal panas ke terminal dingin. Naiknya temperatur terminal dingin diakibatkan dari panas yang tidak terbuang seluruhnya dari *heatsink* ke udara bebas. Untuk grafik hubungan waktu pendinginan, arus listrik, tegangan listrik, dan temperatur dapat dilihat pada gambar 2.2.

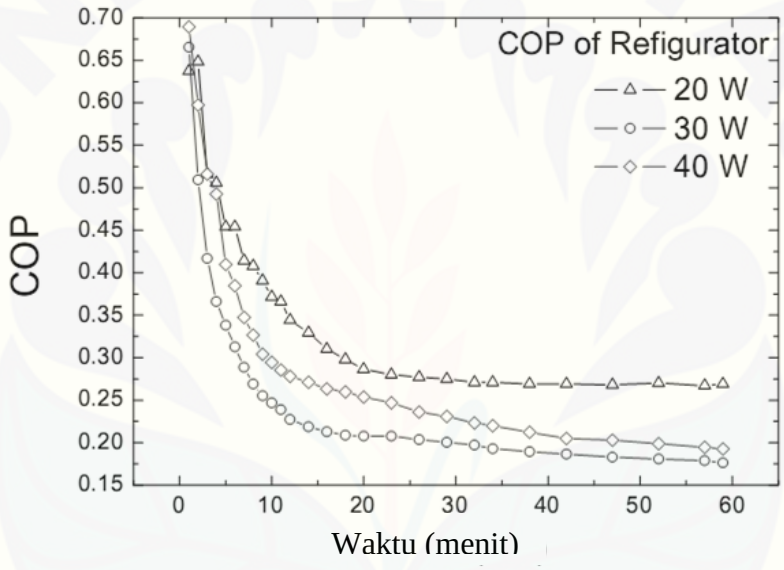


Gambar 2.2 Grafik hubungan waktu pendinginan, arus listrik, tegangan listrik, dan temperatur (sumber: Rawat, 2013).

Digital Repository Universitas Jember

2.1.3 *Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance*

Penelitian ini dilakukan oleh Suwit Jugsujinda, Athorn Vora-ud, and Tosawat Seetawan (2010) dengan menggunakan udara dari kipas dan *heatsink* sebagai media perpindahan temperatur tinggi sisi panas elemen termoelektrik ke lingkungan tanpa beban pendinginan. Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah perbedaan arus dan tegangan yang berbeda-beda yang menghasilkan penurunanan nilai COP seiring dengan lama waktu pendinginan seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik pengaruh waktu terhadap COP (sumber: Jugsujinda, 2010).

Dari grafik pengaruh waktu terhadap COP dengan 3 variabel seperti gambar diatas, diketahuin nilai COP tertinggi terjadi pada daya listrik 20 W. Hal ini terjadi akibat temperatur pada sisi panas termoelektrik tidak terlalu tinggi sehingga tidak mempengaruhi sisi bagian dingin termoelektrik. Selain itu, arah grafik dan nilai COP cenderung normal atau tidak ada perubahan yang terlalu signifikan pada saat waktu pendinginan mulai dari 20 menit sampai 60 menit. Untuk daya 40 W, nilai COP pada waktu 5 sampai 60 menit cenderung mengalami penurunan seiring dengan lamanya waktu pendinginan. Selain itu, nilai COP akan lebih rendah dari daya 30 W

Digital Repository Universitas Jember

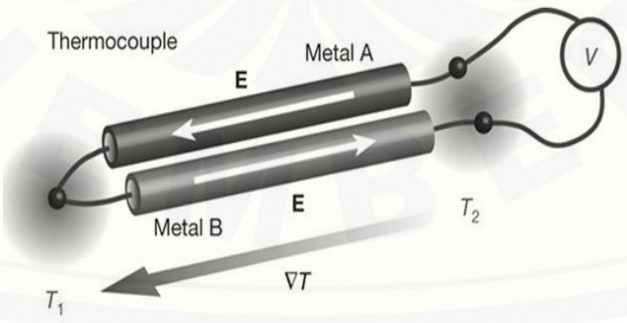
saat waktu pendinginan lebih dari 60 menit. Hal ini terjadi akibat kipas tidak mampu memindahkan panas secara konveksi paksa dari temperatur tinggi *heatsink* ke lingkungan.

2.2 Definisi Efek Termoelektrik

Efek termoelektrik adalah segala fenomena yang melibatkan suatu pertukaran panas dengan gaya gerak listrik (GGL). Bila pertukaran yang terjadi hanya dapat berlangsung satu arah saja, seperti dari GGL menjadi panas dan tidak dapat kembali dari panas menjadi listrik, maka proses tersebut disebut proses tak mampu balik. menurut Tambunan (2000) jika arus dilewatkan melalui suatu termokopel maka akan terjadi lima efek termoelektrik yaitu: efek Seebeck, efek Joulean, efek Peltier, efek Thomson, dan efek konduksi panas. Kelima efek tersebut akan timbul bersama-sama pada saat sistem termoelektrik berlangsung.

2.2.1 Efek Seebeck

Efek Seebeck ditemukan oleh T.J. Seebeck (1821). Jika dua logam konduktor berbeda (A dan B) dan masing-masing ujungnya disatukan dalam temperatur yang berbeda, maka arus listrik akan mengalir dari logam yang lebih positif ke logam satunya. Jika logam A lebih positif (+) terhadap logam B, maka arus akan mengalir melalui T1. Proses mengalirnya arus listrik dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Rangkaian efek Seebeck (sumber: Nature, 2008)

Digital Repository Universitas Jember

Dalam aplikasinya, efek Seebeck biasa digunakan dalam alat yang disebut termokopel (karena dibuat dari persimpangan *coupling* dan biasanya bahan logam) dengan tujuan mengukur perbedaan temperatur langsung atau temperatur mutlak. Dalam efek Seebeck terdapat gaya gerak listrik yang menghasilkan arus listrik. Gaya gerak listrik tersebut dikenal dengan GGL termal Seebeck. Hubungan temperatur dan GGL termal Seebeck dapat dicari dengan persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$E_s = \alpha_{pn} (T_4 - T_2) \quad (2.1)$$

Dimana:

E_s = GGL termal Seebeck (V)

α_{pn} = Koefisien Seebeck (V/K)

T_4 = Temperatur panas (K)

T_2 = Temperatur dingin (K)

2.2.2 Efek Joulean

Efek Joulean adalah terjadinya panas akibat dari arus listrik yang mengalir karena GGL pada efek Seebeck. Semakin besarnya arus listrik yang mengalir, maka temperatur pada terminal panas termoelektrik akan semakin tinggi. Tinggi dan rendahnya temperatur panas yang tejadi sangat mempengaruhi proses pendinginan pada terminal dingin elemen termoelektrik. Panas Joulean yang terbentuk dapat dicari dengan persamaan 2.2.

$$Q = I^2 R \quad (2.2)$$

Dimana:

Q = Panas Joulean (Watt)

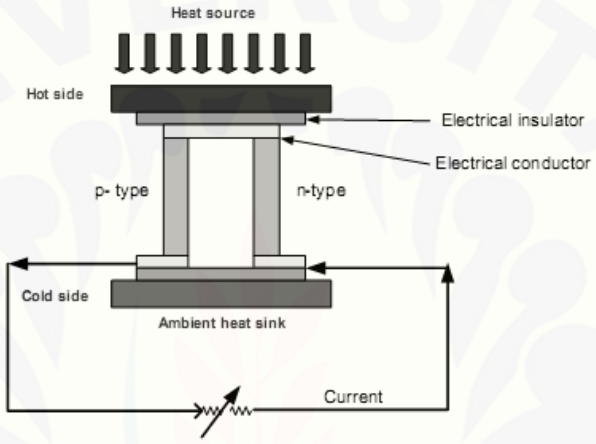
I = Electric current (A)

R = hambatan (ohm)

Digital Repository Universitas Jember

2.2.3 Efek Peltier

Efek Peltier ditemukan oleh Jean Peltier (1834). Jika arus listrik dialirkan pada dua logam konduktor berbeda, maka akan terjadi perbedaan temperatur dikedua ujungnya. Perbedaan temperatur terjadi akibat dari panas yang dilepas pada salah satu ujung dan akan diserap oleh ujung lainnya. Proses terjadinya efek peltier dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Efek peltier (sumber: Barma, 2015)

Besarnya nilai efek peltier yang terjadi pada terminal dingin atau terminal panas elemen termoelektrik dapat ditentukan dengan persamaan 2.3 sebagai berikut.

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

Q_c = Panas pada terminal dingin (W)
Q_h = Panas pada terminal panas (W)
α_{pn} = Koefisien Seebeck (V/K)
T = Temperatur (K)
I = Arus listrik (A)

Digital Repository Universitas Jember

2.2.4 Efek Konduksi Panas

Efek konduksi panas terjadi saat salah satu ujung jembatan termokopel dipertahankan pada temperatur yang lebih tinggi dari ujung lainnya, maka terjadi aliran panas ke ujung yang temperaturnya lebih rendah. Efek konduksi pada termoelektrik ini bersifat tidak dapat balik. Menurut Rawat (2013) konduksi yang terjadi secara elektrik dapat di lihat pada persamaan 2.4.

$$Q_k = U\,(T_4 - T_2) \qquad (2.4)$$

Dimana:

Q_k = Kalor konduksi (W)

U = Koefisien panas keseluruhan ($W/^oK$)

T_4 = Temperatur panas termoelektrik (^oK)

T_2 = Temperatur dingin termoelektrik (^oK)

2.2.5 Efek Thomson

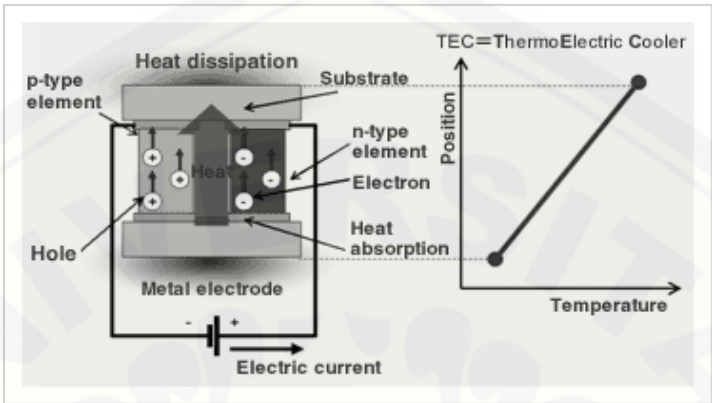
Efek Thomson ditemukan oleh William Thomson (1854). Efek Thomson menjelaskan bahwa setiap konduktor pembawa arus dengan perbedaan temperatur di dua titik baik menyerap maupun melepas panas tergantung pada bahan termoelektrik. Bahan yang memiliki konduktivitas rendah akan berdampak kepada konsumsi listrik yang besar pada proses pendinginan karena waktu yang dibutuhkan dalam proses pendinginan semakin lama.

2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik

Prinsip kerja mesin pendingin termoelektrik adalah menyerap panas di dalam kotak pendingin melalui terminal dingin dan dibuang pada terminal panas elemen termoelektrik. Penyerapan dan pembuangan panas terjadi akibat arus listrik DC yang mengalir ke beberapa pasang sel semikundoktor tipe-p (energi rendah) dan tipe-n

Digital Repository Universitas Jember

(energi tinggi). Perpindahan elektron dari energi tinggi menuju energi rendah dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema aliran elektron (sumber:Furukawa, 2012)

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

Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin dan dilepas pada sisi panas bergantung pada koefisien termoelektrik dan arus listrik yang digunakan. Pada saat dioperasikan jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin akan berkurang dikarenakan dua faktor, yaitu kalor yang terbentuk pada material semikonduktor dikarenakan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas elemen (*conducted heat*) dan *joule heat* yang nilainya akan sama dengan kuadrat dari arus listrik yang digunakan. Sehingga pada kondisi apapun kesetimbangan termal yang terjadi karena efek peltier pada sisi dingin akan sama dengan jumlah kalor yang terbentuk pada semikonduktor.

Digital Repository Universitas Jember

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

2.3.1 *Figure of Merit (Z)*

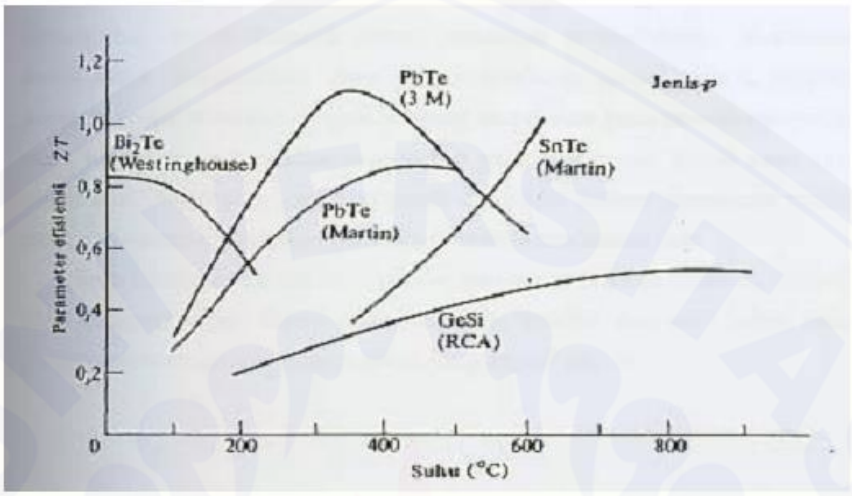
Figure of Merit (Z) merupakan parameter gabungan dari tiga jenis sifat pada termoelektrik dan sangat berpengaruh besar terhadap pendinginan yang terjadi. Tiga jenis sifat itu adalah:

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

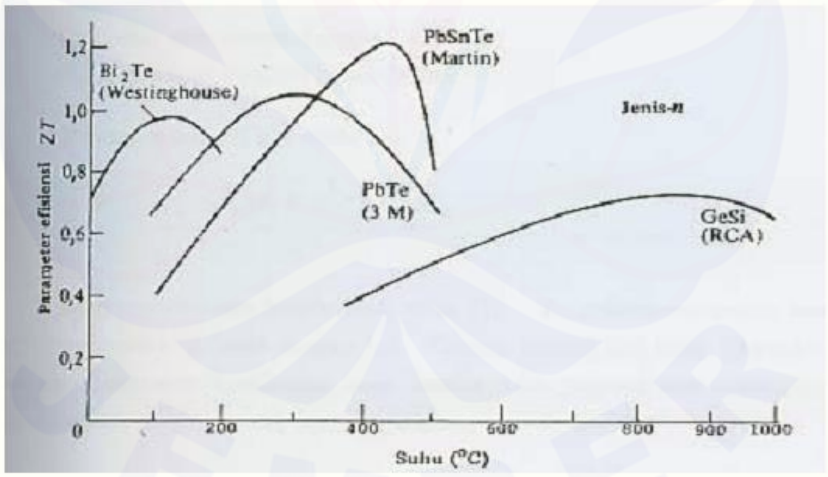
Pendinginan termoelektrik sangat dipengaruhi oleh nilai Z. Semakin tinggi nilai Z maka nilai ΔT akan tinggi pula. Selain itu, nilai Z dapat menunjukan kualitas dari elemen termoelektrik. Nilai Z yang tinggi dapat menunjukan kualitas bahan termoelektrik yang dimiliki sangat baik. Dilihat dari segi kebutuhan temperatur yang digunakan, bahan termoelektrik memiliki tiga jenis yaitu: Bismuth Telluride (Bi_2Te_3), Lead Telluride (PbTe), dan perpaduan Silicon-Germanium (SiGe). Bi_2Te_3 beserta campurannya telah digunakan secara umum dalam aplikasi *Thermoelectric Cooling* dan beberapa pembangkit listrik rendah dengan rentang temperatur 180^oK- 450^oK. Untuk bahan PbTe dan SiGe banyak digunakan untuk rentang temperatur yang tinggi. PbTe memiliki rentang temperatur dari 500^oK – 900^oK, sedangkan SiGe memiliki rentang temperatur 800^oK – 1300^oK.

Digital Repository Universitas Jember

Variasi dari bahan termoelektrik terhadap nilai Z dapat dilihat pada gambar 2.7 dan 2.8



Gambar 2.7. Hubungan temperatur dan parameter efisiensi berbagai material tipe -p (sumber: Oktorina, 2006)



Gambar 2.8. Hubungan temperatur dan parameter efisiensi berbagai material tipe -n (sumber: Oktorina, 2006)

Digital Repository Universitas Jember

Menurut Oktorina (2006) nilai Z dapat dicari dengan persamaan 2.5 dan 2.6.

$$\Delta T_{max} = 0.5\ Z\ T_2{}^2 \qquad (2.5)$$

$$Z = \frac{\Delta T_{max}}{0{,}5\ T2^2} \qquad (2.6)$$

Dimana:

Z = Figur of merit (/ K)

T_2 = temperatur terminal dingin (^oK)

ΔT_{max} = $68^oC = 341^oK$

2.3.2 Konduktivitas Panas Diantara Dua Sambungan Termoelektrik (U)

Proses perpindahan panas tergantung pada perbedaan temperatur (ΔT) dan konduktivitas jenis. Menurut hukum Wiedemann-Franz, nilai konduktivitas panas semakin tinggi atau meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan rata-rata partikel dalam perpindahan energi. Menurut Oktorina (2006) nilai konduktivitas panas dapat dihitung dengan persamaan 2.7 dan 2.8

$$Qo_{max} = U\ (0{,}5\ x\ Z\ x\ T_2{}^2 - (T_4 - T_2)) \qquad (2.7)$$

$$U = \frac{Qo_{max}}{(0{,}5\ x\ Z\ x\ T2^2 - (T4 - T2))} \qquad (2.8)$$

Dimana:

Qo_{max} = Kapasitas pendinginan maksimum elemen peltier (53 W)

Z = Figure of merit (/K)

T_2 = Temperatur terminal dingin (^oK).

T_4 = Temperature terminal panas (^oK)

Digital Repository Universitas Jember

2.3.3 Koefisien Seebeck Bahan (α_{pn}).

Koefisien Seebeck berpengaruh terhadap karakteristik bahan modul yang digunakan. Menurut Oktorina (2006) nilai koefisien Seebeck dapat dihitung menurut persamaan 2.9.

$$(\alpha_{pn}) = \sqrt{\frac{Z\ x\ U\ x\ R}{n^2}} \qquad (2.9)$$

Dimana:

n = jumlah pasang kaki semi konduktor (128 pasang)

R = hambatan alat (1,98 ohm)

2.3.4 COP (*Coefficient of Performance*)

COP merupakan nilai dari sistem pendinginan termoelektrik. Nilai ini dapat menunjukan tingkat kualitas dari sistem pendinginan thermoelektrik. Nilai COP yang tinggi menunjukan bahwa kualitas dari pendinginan sangat baik atau tinggi, sebaliknya COP yang rendah akan menujukan kualitas yang kurang baik dalam sistem pendinginan. Menurut Rawat (2013) COP dapat dihitung dengan persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12 sebagai berikut.

a. Panas yang terjadi pada terminal dingin

$$Q_c = n\ (\alpha_{pn})\ T_2\ I - U(T_4 - T_2) - \tfrac{1}{2}\ I^2\ R \qquad (2.10)$$

b. Daya yang diperlukan

$$W = n\ (\alpha_{pn})\ (T_4 - T_2)I + I^2R \qquad (2.11)$$

c. COP yang dihasilkan

$$COP = \frac{Q_c}{W} \qquad (2.12)$$

Digital Repository Universitas Jember

2.4 Perpindahan Kalor

2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi

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

2.4.2 Faktor Bentuk Konduksi

Faktor bentuk konduksi merupakan suatu besaran yang digunakan dalam mengoreksi perpindahan kalor konduksi pada media atau bahan dengan bentuk geometri tertentu. Dalam sistem tiga dimensi, mempunyai faktor bentuk yang berbeda-beda untuk menghitung aliran kalor di bagian-bagian sudut dan tepi. Menurut Holman (1993) Jika semua dimensi dalam lebih besar dari seperlima tebal dinding maka didapat persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$S_{dinding} = \frac{A}{L} \qquad (2.13)$$

$$S_{tepi} = (0{,}54 \times p) + (0.54 \times l) + (0.54 \times t)$$

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

$$q_d = k\, S_{total}\, (T_5 - T_3)$$

Dimana:

A = Luasan dinding (m^2)

x = Tebal dinding (m)

T_5 = temperatur dinding luar (^oK)

T_3 = Temperatur dinding dalam (^oK)

k = Konduktivitas *polyurethane* (0.02 W/m^oK)

Digital Repository Universitas Jember

p = Panjang kotak pendingin (m)

l = Lebar kotak pendingin (m)

t = Tinggi kotak pendingin (m)

2.5 Daya Listrik

Daya listrik merupakan jumlah energi listrik yang mengalir dalam setiap satuan waktu(detik). Dalam penelitian ini, daya listrik merupakan faktor yang sangat berpengaruh besar terhadap nilai efisiensi sistem pendinginan. Besarnya daya listrik yang digunakan dapat diketahui dengan mengukur arus dan tegangan saat elemen termoelektrik bekerja. Daya listrik dapat dicari dengan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$P = V\,I \qquad (2.14)$$

Dimana:

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (A)

2.6 Beban Pendinginan

Beban pendinginan merupakan panas yang ada di dalam ruangan yang harus dipindahkan keluar ruangan dengan tujuan menurunkan temperatur didalam ruangan. Pada penelitian ini, beban pendinginan yang terjadi meliputi: beban pendinginan udara, beban pendinginan faktor bentuk konduksi, dan beban pendinginan *heatsink* terminal dingin termoelektrik. Beban pendinginan udara adalah beban yang terjadi didalam kotak pendinginan yang dihitung dari temperatur 28^{o}C sampai temperatur kontrol. Perhitungan beban pendinginan faktor bentuk bertujuan untuk mengatahui kalor pada dinding kotak pendingin. Sedangkan perhitungan beban pendinginan *heat sink* terminal dingin bertujuan untuk mengatahui nilai kalor yang terjadi dari temperatur 28^{o}C sampai temperatur kontrol didalam ruangan menjadi 18^{o}C, 20^{o}C,

Digital Repository Universitas Jember

22°C, dan 24°C. Dalam mencari nilai beban pendinginan dapat menggunakan tabel 2.2 dan persamaan 2.15.

$$q_b = m\ C\ \Delta T \qquad (2.15)$$

$$q_b = \text{joule} / t = \text{watt}$$

Dimana:

m = Massa (Kg)

C = Kalor jenis (J/Kg°K)

ΔT = Perubahan temperatur (°K)

Tabel 2.2 Nilai kalor jenis menurut jenis zatnya

Z a t	Kalor Jenis (c)	
	Kal/g^0 C	J/kg K
Air	1,00	4200
Air laut	0,93	3900
Alkhohol	0,55	230
Minyak tanah	0,52	220
Raksa	0,033	140
Es	0,595	2500
Alumunium	0,214	900
Kaca	0,16	670
Besi	0,11	460
Tembaga	0,093	390
Kuningan	0,90	380
Perak	0,056	230
Emas	0,031	130
Timbal	0,031	130

(Sumber: Arif Kristanta, 2012)

2.7 Efisiensi Pendingian Sistem

Efisiensi pendinginan sistem merupakan perbandingan jumlah kalor yang bekerja seluruhnya terhadap kalor yang masuk pada suatu sistem yang pada penelitian ini berupa daya listrik. Efisiensi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti: faktor bentuk, beban pendinginan *heatsink dingin*, dan beban pendinginan udara. Dalam

Digital Repository Universitas Jember

mencari nilai efisiensi yang dihasilkan dari suatu sistem pendinginan dapat dihitung dengan persamaan 2.16.

a. Kalor total (q_T)

q_T = kalor bentuk + kalor *heat sink* dingin + kalor beban pendinginan udara

$q_T = q_{dinding} + q_{aluminium} + q_{udara}$

b. Efisiensi Pendinginan (η)

$$\eta = \frac{q_T}{P} \, x \, 100\% \qquad (2.16)$$

2.8 Modul Termoelektrik

Modul termoelektrik umumnya dibuat dari berbagai material semi konduktor seperti *Bismuth Tellurium* (B_2Te_3), *Plumbum Tellurium* (PbTe), dan *Silicon Germanium* (SiGe). Dalam penelitian ini, termoelektrik yang digunakan adalah *Bismuth Tellurium* (B_2Te_3) tipe TEC1-12706. Bismuth Tellurium (B_2Te_3) berbentuk batang-batang yang dilapisi oleh keramik tipis dengan fungsi menyerap panas dari dalam kotak pendingin dan membuangnya ke udara bebas. Semakin rendah temperatur di terminal panas akan membawa dampak terhadap penurunan temperatur di terminal dingin. Dalam aplikasinya, elemen termoelektrik menggunakan arus listrik searah (*Direct Current*) yang cukup besar saat beroperasi. Besarnya arus listrik yang dikonsumsi berdampak terhadap kemampuan pendinginan. Semakin besar arus listrik yang dikonsumsi, maka temperatur dingin yang dihasilkan akan semakin rendah. Besar kecilnya arus listrik yang digunakan atau dikonsumsi dapat dilihat dari no seri pada elemen termoelektrik. Besarnya arus listrik maksimal yang di konsumsi dapat diketahui dari angka terakhir.

Setiap modul termoelektrik yang digunakan untuk aplikasi pendingin dikarakterisasikan kedalam beberapa parameter penggunaan yang menentukan

Digital Repository Universitas Jember

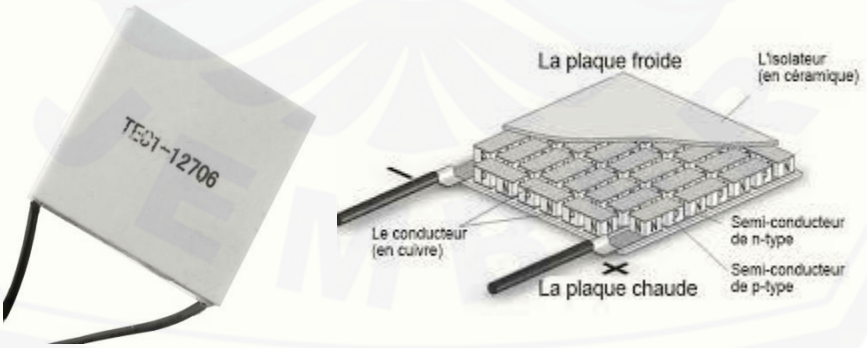
pemilihan modul yang lebih akurat diantara banyak pilihan modul yang tersedia. Berikut beberapa parameter yang menjadi dasar pemilihan modul termoelektrik :

a. Jumlah kalor yang akan diserap oleh sisi dingin modul.
b. Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul ketika beroperasi.
c. Arus listrik yang digunakan oleh modul.
d. Tegangan listrik yang diugunakan oleh modul.
e. Temperatur tertinggi dan terendah lingkungan dimana modul beroperasi.

Termoelektrik dengan dimensi kecil memiliki keunggulan yang sangat besar dibandingkan dengan sistem pendingin lainnya. Keunggulannya adalah sebagi berikut:

a. Modul termoelektrik tidak bergerak, sehingga untuk perawatan lebih mudah.
b. Pengujian usiapenggunaan telah membuktikan bahwa modul termoelektrik dapat digunakan selama 100.000 jam.
c. Modul termoelektrik tidak memiliki kandungan chloroflourocarbons (CFC) atau material lainnya yang membutuhkan penambahan berkala.
d. Modul termoelektrik bisa dioperasikan pada lingkungan yang terlalu kecil

Dalam penelitian ini, modul termoelektrik yang digunakan adalah jenis TEC 1 12706 merk Shenzhen seperti gambar 2.9 dan spesifikasi pada tabel 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.9 Modul termoelektrik (sumber:Shenzhen, 2009)

Digital Repository Universitas Jember

Tabel 2.3 Spesifikasi TEC 1 12706

No	Model NO.: TEC-12706
1	Size = (40 x 40 x3.8) mm
2	A = 1,69 x 10^{-6}
3	L = 0,0016 m
4	I_{max} = 6 Ampere
5	V_{max} = 12 Volt
6	Q_{max} = 53 Watt ($\Delta T = 0$)
7	$\Delta T_{max} = 68^{o}$ C
8	R = 1,98 ohm
9	n = 128 pasang

(Sumber: Shenzhen, 2009).

2.9 *Heatsink*

Heatsink adalah bahan atau material penyerap panas dan pelepas panas yang terbuat dari bahan dengan nilai konduktivitas tinggi. secara umum, bahan *heatsink* dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Perak dan emas

Bahan ini memiliki tingkat konduktivitas tertinggi tetapi harga yang sangat mahal membuat bahan ini tidak memungkinkan untuk dibuat dan dipasarkan secara massal.

b. Copper atau tembaga

Bahan ini memiliki konduktivitas tertinggi ke 2 sehingga penyerapan panasnya juga baik. Tembaga memiliki sifat menyerap panas cepat tetapi tidak bisa melepaskan panas dengan cepat sehingga. Selain itu kekurangan yang menyertainya yaitu memiliki berat yang lebih besar dari pada aluminium, harga yang mahal, dan proses produksi yang rumit.

c. Aluminium

Bahan ini memiliki konduktivitas dibawah tembaga sehingga penyerapanya kurang sempurna, tetapi memiliki kemampuan terbaik dari tembaga yaitu memiliki

Digital Repository Universitas Jember

kemampuan melepas atau mengurai panas dengan cepat dan berat bahan tidak seberat tembaga. Kekurangan bahan ini adalah kurang baik dalam penyerapan panas dan memiliki harga yang lebih rendah.

d. Gabungan tembaga dan aluminium

Bahan ini merupakan kombinasi dari dua bahan yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Hasil yang diharapkan dari gabungan bahan ini adalah *heatsink* memiliki keunggulan yang lebih dalam menyerap dan melepaskan panas.

2.9.1 Cara kerja *heatsink*

Cara kerja *heatsink* adalah menyerap panas dari sumber panas atau temperatur tinggi dan menyebarkan keseluruh bagian sirip-sirip yang bertemperatur rendah sehingga temperatur tinggi pada sumber panas menjadi berkurang. Pada bagian *heatsink* terminal panas termoelektrik terjadi dua proses perpindahan panas yaitu: konduksi dan konveksi. Perpindahan panas dari sumber panas ke *heatsink* dilakukan dengan sistem konduksi atau hantaran sehingga luasan dan nilai konduktivitas sangat mempengaruhi proses perpindahan. Perpindahan panas dari *heatsink* ke udara bebas dapat dilakukan secara konveksi bebas dan secara paksa. Dalam penerapannya, *heat sink* biasa digunakan sebagai pendingin sebuah processor, pendingin komponen elektronika, dan lain-lain. Dalam memaksimalkan cara kerja heat sink, maka perlu diperhatikan 4 karakteristik *heatsink* sebagai berikut:

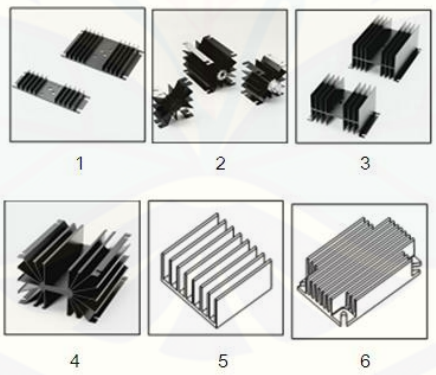
1. Luas area heatsink akan menyebabkan disipasi panas menjadi lebih baik karena akan memperluas area pendinginan yang dapat mempercepat proses pembuangan panas yang diserap oleh heatsink.
2. Bentuk aerodinamik yang baik dapat mempermudah aliran udara panas agar cepat dikeluarkan melalui sirip-sirip pendingin. Khususnya pada heatsink dengan jumlah sirip yang banyak tetapi dengan jarak antar sirip berdekatan akan membuat aliran udara tidak sempurna sehingga perlu ditambahkan sebuah kipas untuk memperlancar aliran udara pada jenis heatsink tersebut.

Digital Repository Universitas Jember

3. Transer panas yang baik pada setiap heatsink juga akan mempermudah pelepasan panas dari sumber panas ke bagian sirip-sirip pendingin. Desain sirip yang tipis memiliki memiliki konduktifitas yang lebih baik.
4. Desain permukaan dasar heatsink sampai pada *mirror finish* atau tingkat kedatarannya tinggi sehingga dapat menyentuh permukaan sumber panas lebih baik dan merata. Hal ini dapat menyebabkan penyerapan panas lebih sempurna, tetapi untuk mengindari resistensi dengan sumber panas heatsink tetap harus menggunakan suatu pasta atau *thermal compound* dan agar luas permukaan sentuh juga lebih merata.

2.9.2 *Profile Heatsink*

Dalam proses perpindahan panas dari terminal panas termoelektrik ke lingkungan, *profile heatsink* memiliki peranan yang cukup penting dan sangat berpengaruh terhadap temperatur didalam kotak pendingin. Bentuk *profile heatsink* dapat dilihat pada gambar 2.10 sebagai berikut:



Gambar 2.10 Bentuk *profile heatsink* (sumber: wakefield, 2009)

Bentuk *profile heatsink* dari no 1 sampai no 6 memiliki manfaat yang berbeda-beda sehingga dalam aplikasinya sangat perlu diperhatikan dengan tujuan

Digital Repository Universitas Jember

memaksimalkan perpindahan panas yang terjadi. Manfaat dari profile dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. *Flate back heatsink*

Merupakan bentuk *heatsink* berbentuk *flate* yang biasa digunakan untuk pendingin komponen elektronik seperti: IC, dioda, regulator, dan lain-lain. bentuk ini memiliki nilai konduktivitas termal yang baik dalam memindahkan panas baik secara alamiah maupun paksa.

b. *Dual stud-mounted*

Bentuk ini memiliki kelebihan dari segi bentuk dan nilai konduktivitas yang lebih tinggi daripada *flate back heatsink.* Dual stud mounted memiliki lubang ditengah yang bisa digunakan untuk mengalirkan air pendingin. Bentuk profile ini sering digunakan pada pendingin computer.

c. *Double-surface TO-3 case style*

Bentuk ini hampir sama dengan *flate back heatsink* yang memiliki susunan *fin* tengah kosong dan perbedaannya hanya pada lokasi fin. *Fin* pada bentuk ini terdapat pada depan, belakang dan samping sehingga perpindahan panas yang terjadi sangat maksimal. *Heatsink* bentuk ini digunakan untuk pendinginan bagian elektronik atau komponen yang vertikal saja.

d. *H-style*

Bentuk ini menyerupai huruf H dengan kosong pada bagian tengah. Nilai konduktivitas ini lebih tinggi daripada bentuk sebelumnya karena fin-finnya lebih tebal dan banyak. Penggunaan bentuk ini digunakan untuk pendinginan vertikal dengan perpindahan panas maksimal.

e. *Half brick*

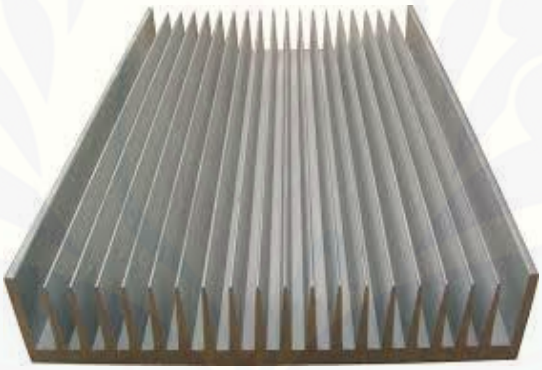
Bentuk ini memiliki fin pada satu permukanan saja. Heatsink bentuk ini biasa digunakan untuk pendinginan horizontal tetapi kadang digunakan untuk pendinginan secara vertikal. Nilai konduktivitas bentuk ini merupakan yang terbaik dari jenis lainnya karena sering digunakan untuk mendinginkan alat atau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

Digital Repository Universitas Jember

f. *Quarter brick*

Bentuk ini hampir sama dengan *half brick* hanya saja bentuk ini memiliki tinggi fin yang lebih rendah dan disetiap pojok ada lubang untuk baut. Bentuk ini biasa digunakan untuk pendinginan alamiah dengan temperatur sumber tidak terlalu panas.

Bentuk *profile heatsink* yang banyak menjadikan pilihan beranekaragam. Dalam penelitian ini, *heatsink* yang digunakan berbentuk *half brick* karena bentuk *profile* sesuai dengan kotak pendingin yaitu horizontal, memiliki konduktivitas yang tinggi, mudah untuk memvariasikan luasan heatsink, dan mudah ditemui dipasaran. Gambar 2.11 merupakan salah satu jenis *heatsink* aluminium yang digunakan dalam penelitian



Gambar 2.11 *Heatsink* (sumber: wakefield, 2009)

2.10 Kotak Pendingin

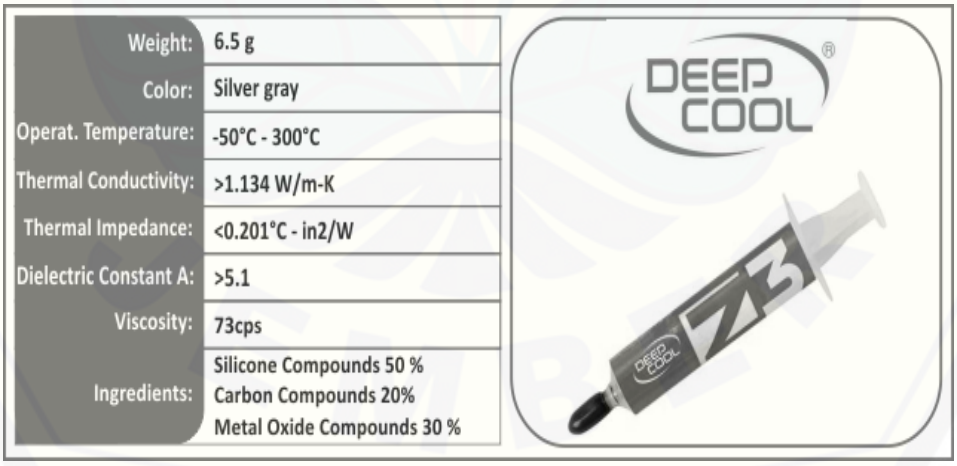
Kotak pendingin merupakan tempat untuk menghambat perpindahan panas dari luar maupun dari dalam kotak sehingga temperatur di dalam kotak dapat terjaga dengan baik. Kotak pendingin terbuat dari bahan yang mengandung nilai konduktivitas sangat rendah yaitu *polyurethane foam* dengan nilai K= 0.02 W/mK. sehingga perpindahan kalor dari ruangan ke lingkungan atau sebaliknya sulit terjadi. Selain itu bentuk kotak dipilih karena mudah untuk dimodifikasi sebagai *portable mini refrigerator.* Gambar 2.12 adalah bok pendingin berbentuk kotak.

Digital Repository Universitas Jember

Gambar 2.12 Kotak pendingin (sumber: Megaplastic, 2010)

2.10 *Thermal Paste*

Thermal paste adalah bahan yang berbentuk pasta dengan nilai konduktivitas yang relatif baik. Penggunaan *thermal paste* bertujuan untuk mengisi celah atau rongga udara antara permukaan yang ingin ditempelkan atau digabungkan, sehingga perpindahan panas dari terminal panas termoelektrik ke *heatsink* dapat berpindah secara maksimal. Gambar 2.13 merupakan *thermal paste* merk Z3 yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2.13 *Thermal paste* Z3(sumber: Deepcool, 2009)

Digital Repository Universitas Jember

2.11 Aplikasi Termoelektrik

Dalam aplikasinya, termoelektrik dapat digunakan sebagai berikut:

a. Pembangkit Listrik

Pembangkitan listrik termoelektrik berawal dari panas yang dihasilkan selama proses pembakaran atau sumber panas alami yang diubah langsung menjadi listrik dengan menggunakan prinsip termokopel. Pembangkitan energi listrik dari energi panas sistem ini sangat berdampak positif terhadap pemanfaatan energi panas yang berlimpah. Selain itu, proses pembangkitan ini sangat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi seperti pembangkit lainnya. Contoh penggunaan termoelektrik sebagai pembangkit listrik adalah:

1) Pesawat ruang angkasa Voyager I dan II pada tahun 1977 telah menggunakan teknologi termoelektrik dengan plutonium-238 sebagai sumber panasnya. Sistem ini mampu membangkitkan listrik sebesar 400 W secara terus-menerus dan tanpa perawatan apapun. Voyager dapat mengirimkan data walaupun sudah terbang selama 30 tahun.
2) Jam termoelektrik yang dibuat oleh Seiko Co.Ltd pada tahun 1998 dengan nama Seiko Thermic. Jam ini memanfaatkan perbedaan temperatur tubuh dengan temperatur sekitarnya. Bahan yang digunakan adalah Bismuth-Tellurium yang mampu menghasilkan listrik sebesar 0.2 mV/^{o}C.
3) Panas dari komputer dapat digunakan untuk membangkitkan listrik skala kecil, kemudian listrik yang dihasilkan digunakan untuk memutar kipas yang diarahkan ke sumber panas. Alat ini mampu menurunkan panas sekitar 32^{o}C.

b. Mesin Pendingin

Termoelektrik sebagai pendingin dibuat dari bahan semikonduktor yang jika dialiri arus listrik *Direct Current* (DC) akan menghasilkan perbedaan temperatur yang signifikan secara bersamaan pada kedua sisi termoelektrik. Pada sisi dingin atau temperatur rendah dapat dimanfaatkan langsung sebagai sumber pendinginan.

Digital Repository Universitas Jember

Contoh penggunaan termoelektrik sebagai mesin pendingin adalah:

1) Dalam bidang kesehatan, mesin pendingin termoelektik ini dapat digunakan untuk menyimpan imunisasi saat didistribusikan atau dibawa ke tempat daerah terpencil.
2) Dalam bidang pertanian khususnya pembibitan, elemen termoelektrik dapat digunakan sebagai inkubator perkembangbiakan jamur tiram. Menurut Mucharoji (2008), perkembangbiakan miselia terjadi pada temperatur 20–30^{o}C. Berdasarkan proses perkembangbiakan miselia sampai siap tanam, temperatur dikontrol menjadi empat bagian mulai dari 18^{o}C, 20^{o}C, 22^{o}C, dan 24^{o}C dengan lama waktu berbeda-beda selama 3 hari.
3) Penggunaan yang lebih luas lagi adalah pendinginan wine di hotel Jepang yang mempergunakan teknologi termoelekrik. Mesin pendingin termoelektrik dapat diletakkan dengan mudah di bawah tempat tidur karena tidak menimbulkan suara dan getaran.

Digital Repository Universitas Jember

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan rencana kerja yang telah disusun. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan November 2014 sampai dengan Desember 2014.

3.2 Alat dan Bahan

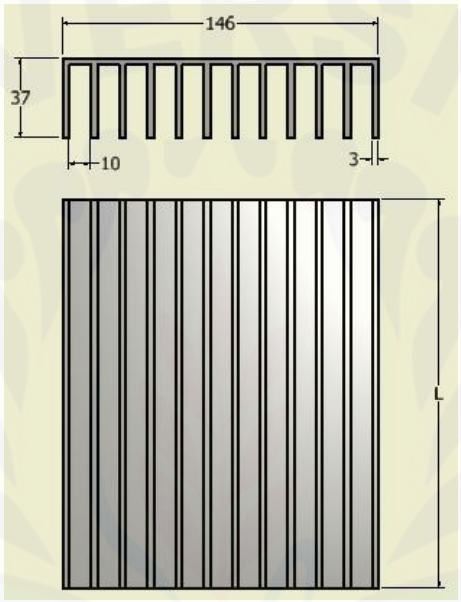
3.2.1 Alat dan Instrumen Penelitian

a. Kotak pendingin (230 x 200 x 200) mm
b. Elemen termoelektrik (peltier)
c. *Data logger*
d. Kipas
e. Multimeter
f. Anemometer digital
g. Adaptor
h. Solder
i. Stopwatch
j. *Hand drill*
k. Gergaji besi
l. Lem

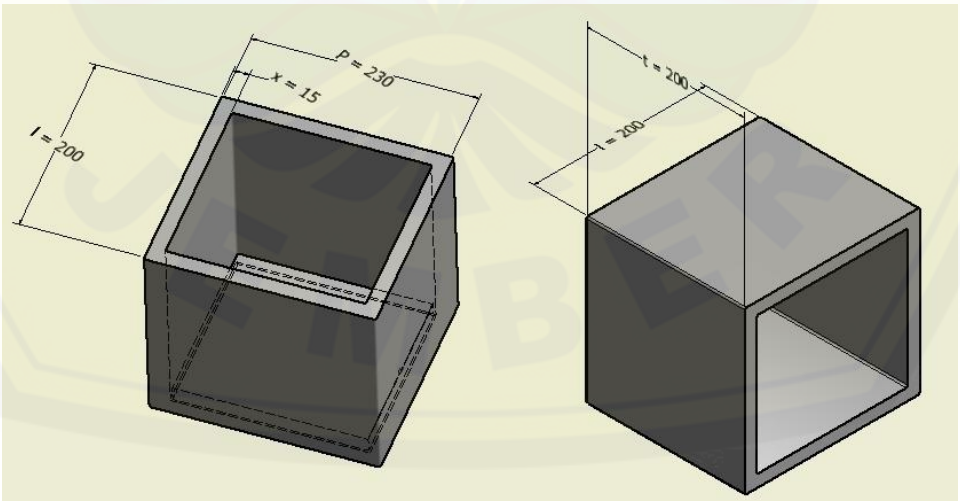
Digital Repository Universitas Jember

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *heatsink* dengan variasi luasan dan temperatur di dalam kotak dengan ukuran 230 mm x 200 mm x 200 mm. Nilai luasan didapat dari nilai L= 110 mm, 140 mm, 180 mm adalah 0,12 m^2, 0,15 m^2, dan 0,19 m^2 serta variasi temperatur adalah 18^{o}C, 20^{o}C, 22^{o}C, dan 24^{o}C



Gambar 3.1 Dimensi *heat sink*



Gambar 3.2 Kotak pendingin

Digital Repository Universitas Jember

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan variasi luasan *heatsink* panas dan temperatur dingin dalam kotak. Variasi luasan *heat sink* dilakukan dengan menempatkan *heatsink* di terminal panas elemen peltier atau termoelektrik sehingga diperoleh data untuk menghitung COP pada temperatur 18^{o}C, 20^{o}C, 22^{o}C, dan 24^{o}C. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan arus dan tegangan listrik DC untuk elemen termoelektrik sebesar 10.64 V dan 2.58 A.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Alat Pengujian

Persiapan alat pengujian dilakukan dengan memodifikasi kotak pendingin sesuai kebutuhan. Dalam hal ini alat pengujiannya menggunakan kotak pendingin yang sudah dimodifikasi di bagian tutup kotak dengan tambahan *heatsink* dan kipas di terminal panas.

3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua kelengkapan alat uji dan komponen serta melakukan tes agar mengetahui listrik dapat berjalan dengan baik pada rangkaian atau tidak.

3.4.3 Tahapan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat melakukan pengujian. Tahap-tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

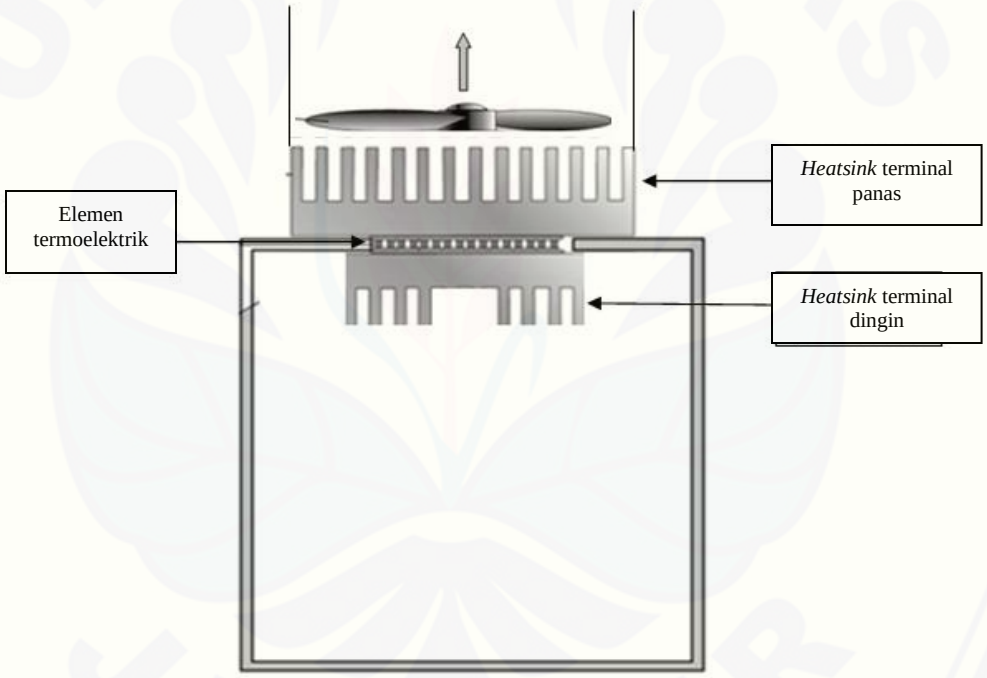
a. Merangkai komponen-komponen mesin pendingin dengan benar yaitu adaptor listrik, elemen termoelektrik, *heatsink*, kipas, dan komponen-komponen lain
b. Pemasangan alat ukur temperatur (termokopel), pada titik-titik yang telah ditentukan
c. Menjalankan alat uji dan mencatat temperatur yang ditunjukan oleh pengukur temperatur pada semua titik yang ditentukan

Digital Repository Universitas Jember

d. Melakukan percobaan dengan merubah variasi luasan *heatsink* dari 0,12 m^2, 0,15 m^2, dan 0,19 m^2 dan temperatur dingin 18^{o}C, 20^{o}C, 22^{o}C, dan 24^{o}C.
e. Pengumpulan data
f. Perhitungan data untuk mencari COP dan efisiensi sistem.

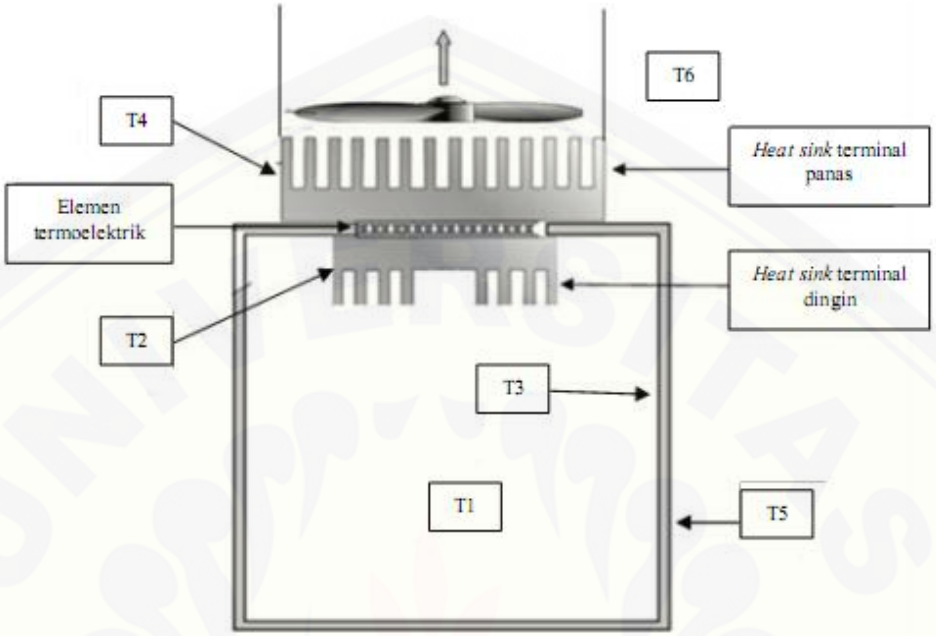
3.5 Rangkaian *Portable Mini Refrigerator*

Skema alat yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

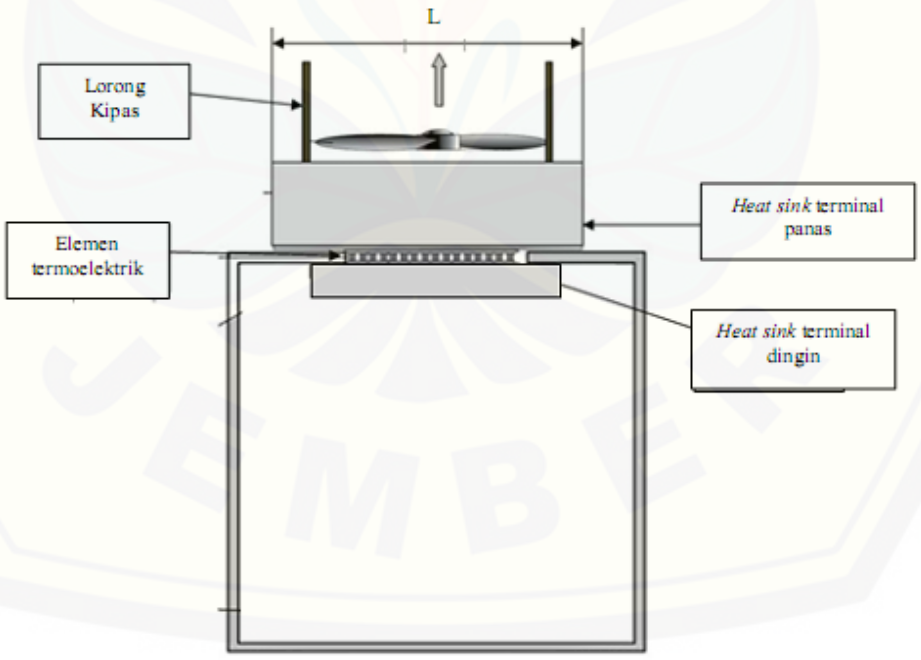


Gambar 3.3 skema rangkaian *Portable Mini Refrigerator*

Digital Repository Universitas Jember

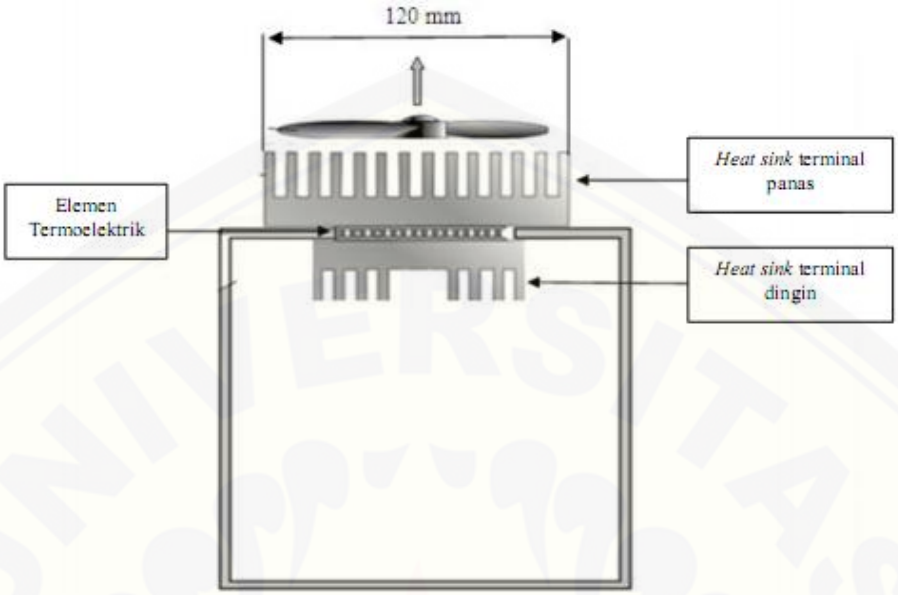


Gambar 3.4 Titik pengukuran temperatur



Gambar 3.5 *Heatsink* tampak samping.

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 3.6 kotak pendingin tampak samping

3.6 Variabel

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

1.6.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi luasan *heat sink* , temperatur dingin dalam kotak 18^{o}C, 20^{o}C, 22^{o}C, 24^{o}C, dan kecepatan kipas 0.5 m/s.

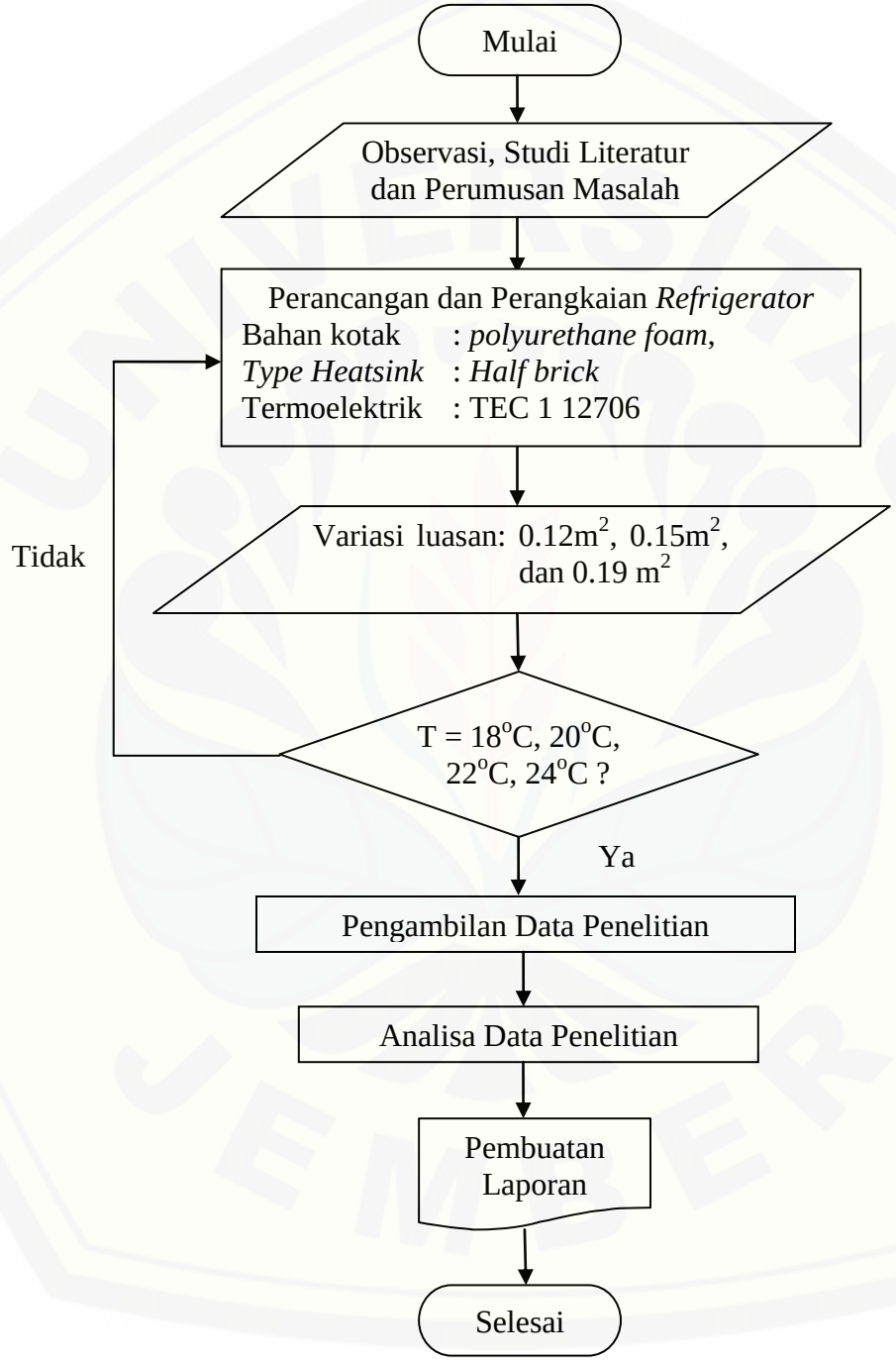
1.6.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variable terikat dalam penelitian ini adalah tegangan dan arus listrik, temperatur pada titik-titik yang dicari, dan lama waktu pendinginan.

Digital Repository Universitas Jember

3.7 Diagram Alir

Adapun proses dan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.7 dibawah ini:



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

Digital Repository Universitas Jember

3.8 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah nilai COP elemen termoelektrik dan efisiensi sistem pendinginan terjadi kenaikan seiring dengan pertambahan luasan *heat sink* terminal panas termoelektrik.

Digital Repository Universitas Jember

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Telah dilakukan penelitian tentang analisis pengaruh luasan *heatsink* terhadap unjuk kerja *portable mini refrigerator*. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan luasan *heatsink* di terminal panas elemen termoelektrik sehingga memperoleh data temperatur disemua titik yang digunakan untuk menghitung COP dan efisiensi sistem pada temperatur 18^{o}C, 20^{o}C, 22^{o}C, dan 24^{o}C. Data yang diperoleh ditunjukan pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil rata-rata pengujian

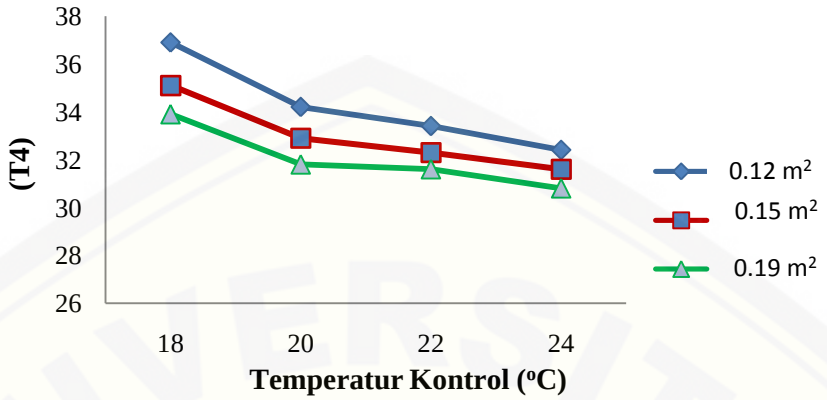
Temperatur Kontrol (^{o}C)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^{o}C)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	25.18	18	12.5	20.4	36.9	26.7	27.6
	0.15	23.23	18	12.3	20.0	35.1	26.5	27.4
	0.19	22.24	18	12.0	19.9	33.9	26.4	27.3
20	0.12	9.42	20	14.5	22.6	34.2	27.4	27.7
	0.15	8.31	20	14.4	22.4	32.9	27.2	27.6
	0.19	8.13	20	14.1	22.1	31.8	27.1	27.4
22	0.12	5.11	22	16.3	24.4	33.4	27.4	27.7
	0.15	4.42	22	15.8	23.9	32.3	27.3	27.5
	0.19	4.20	22	15.4	23.9	31.6	27.3	27.6
24	0.12	2.54	24	18.2	26.6	32.4	27.7	27.8
	0.15	2.36	24	18.0	26.4	31.6	27.6	27.7
	0.19	2.15	24	17.6	26.1	30.8	27.2	27.4

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Luasan *Heatsink* Terhadap Temperatur *Heatsink* Panas

Heatsink merupakan bagian yang sangat penting dalam penelitian ini karena digunakan untuk memindahkan panas yang dihasilkan oleh sisi terminal panas termoelektrik. Luasan *heatsink* yang berbeda-beda akan menghasilkan temperatur pada tiap titik yang berbeda pula sehingga akan berpengaruh terhadap nilai COP dan efisiensi sistem. Temperatur *heatsink* terminal panas (T_4) harus terlebih dahulu diketahui agar didapat pengaruh perubahan luasan *heatsink*. Data temperatur *heatsink* terminal panas dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 4.1 Grafik temperatur kontrol terhadap temperatur *heatsink* panas

Dari penelitian yang diperoleh pada proses pendinginan, temperatur kontrol dengan luasan *heatsink* 0.12 m^2, 0.15 m^2, dan 0.19 m^2 memiliki pengaruh besar terhadap temperatur di *heatsink* panas. Dalam Gambar 4.1 didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur kontrol maka semakin rendah pula temperatur *heatsink* terminal panas. Temperatur *heatsink* terminal panas pada semua luasan mengalami penurunan yang sangat signifikan ketika terjadi perubahan temperatur kontrol dari 18^oC menjadi 20^oC. Perubahan temperatur ini diakibatkan oleh kerja elemen termoelektrik yang lebih ringan karena perpindahan panas secara konduksi dari terminal panas termoelektrik menuju terminal dingin tidak terlalu besar. Dari segi luasan, *heatsink* dengan luasan 0.19 m^2 mempunyai temperatur *heatsink* panas yang paling rendah dibandingkan dengan luasan lainnya. Temperatur *heatsink* terminal panas terendah mencapai 30.8^oC pada saat temperatur kontrol 24^oC. Rendahnya temperatur *heatsink* terminal panas dipengaruhi oleh luasan penampang yang lebih luas untuk membuang panas secara konveksi paksa. Temperatur udara bebas juga merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap temperatur *heatsink* terminal panas. Semakin rendah temperatur lingkungan maka perpindahan panas konveksi dari terminal panas juga semakin besar dan berdampak terhadap penurunan temperatur terminal dingin.

Digital Repository Universitas Jember

Waktu yang dibutuhkan dalam proses pendinginan mengalami penurunan seiring dengan naiknya temperatur kontrol seperti pada Tabel 4.1. Hal ini disebabkan karena *heatsink* panas dengan luasan 0.12 m^2 memiliki temperatur yang tinggi daripada luasan *heatsink* 0.15 m^2 dan 0.19 m^2. Temperatur *heatsink* panas sangat berpengaruh terhadap cepat dan lambatnya proses pendinginan, karena temperatur yang tinggi akan mengalami perpindahan panas ke temperatur yang rendah atau *heat sink* dingin, sehingga dengan semakin tingginya temperatur *heatsink* panas maka proses pendinginan akan lebih lama.

Dari hasil penelitian, luasan yang sesuai dalam penelitian ini adalah 0.19 m^2 karena waktu yang dibutuhkan sangat cepat sehingga berdampak terhadap penurunan temperatur terminal heatsink. Dilihat dari segi batas kerja temperatur pendinginan, batas temperatur kerja terendah yang sesuai di penelitian ini adalah 20^oC karena waktu yang dibutuhkan tidak terlalu lama.

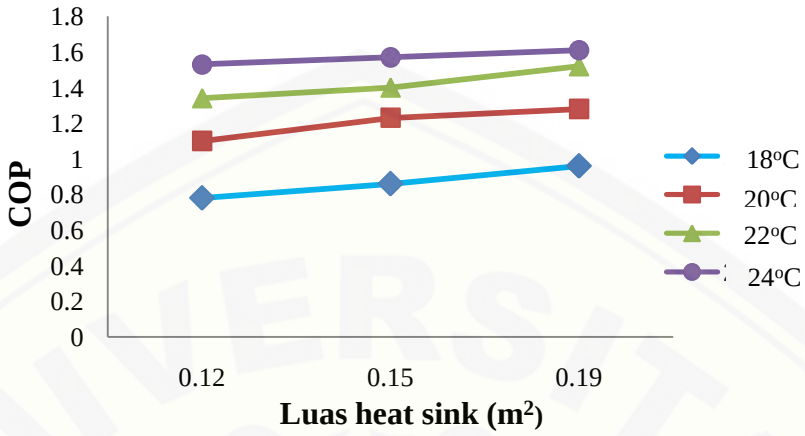
4.2.2 Analisis COP

Nilai COP merupakan nilai unjuk kerja yang dapat menentukan kualitas dari termoelektrik. Nilai COP ini diperoleh dari hasil bagi antara kalor yang terdapat pada terminal dingin dengan daya yang masuk pada termoelektrik. Data hasil perhitungan COP dari semua variasi luasan heatsink dan temperatur kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai COP

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	COP
18	0.12	25.18	18	12.5	20.4	36.9	26.7	27.6	0.78
	0.15	23.23	18	12.3	20.0	35.1	26.5	27.4	0.86
	0.19	22.24	18	12.0	19.9	33.9	26.4	27.3	0.96
20	0.12	9.42	20	14.5	22.6	34.2	27.4	27.7	1.10
	0.15	8.31	20	14.4	22.4	32.9	27.2	27.6	1.23
	0.19	8.13	20	14.1	22.1	31.8	27.1	27.4	1.28
22	0.12	5.11	22	16.3	24.4	33.4	27.4	27.7	1.34
	0.15	4.42	22	15.8	23.9	32.3	27.3	27.5	1.40
	0.19	4.20	22	15.4	23.9	31.6	27.3	27.6	1.52
24	0.12	2.54	24	18.2	26.6	32.4	27.7	27.8	1.53
	0.15	2.36	24	18.0	26.4	31.6	27.6	27.7	1.57
	0.19	2.15	24	17.6	26.1	30.8	27.2	27.4	1.61

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 4.2 Grafik hubungan luasan *heat sink* dan temperatur kontrol terhadap COP

Pada Gambar 4.2 nilai COP mengalami kenaikan seiring dengan naiknya luasan *heatsink* dan temperatur kontrol. Kenaikan COP diakibatkan oleh perbedaan temperatur *heat sink* terminal panas dan *heat sink* terminal dingin yang semakin mengecil dan sebaliknya, nilai COP akan mengalami penurunan jika perbedaan temperatur semakin besar. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Onoroh(2013). Selain itu, luasan *heatsink* yang besar memiliki kemampuan melepas panas ke udara yang cukup tinggi sehingga perpindahan konveksi paksa oleh kipas dapat dilakukan secara maksimal. Sedangkan luasan *heatsink* yang kecil memiliki temperatur yang lebih tinggi dan nilai COP yang lebih kecil dikarenakan kecepatan kipas terlalu lambat atau tidak sesuai untuk memindahkan panas dari *heatsink* ke lingkungan.

Penelitian ini juga membuktikan bahwa ada hubungan antara lama waktu pendinginan dengan nilai COP. Semakin lama waktu pendinginan maka nilai COP akan mengalami penurunan dikarenakan termoelektrik akan bekerja berat dan menghasilkan temperatur tinggi pada terminal panas *heatsink* disaat temperatur kontrol menjadi rendah. Penurunan COP ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Jungsida(2010).

Digital Repository Universitas Jember

Nilai COP tertinggi didapatkan pada luasan *heatsink* 0.19 m^2 dan temperatur kontrol 24^oC yaitu 1.61. Nilai ini terjadi karena perbedaan temperatur terminal panas *heatsink* dan terminal dingin *heatsink* tidak terlalu besar. Kerja dari termoelektrik juga tidak terlalu berat sehingga panas yang terjadi pada *heatsink* panas tidak terlalu tinggi. Luasan 0.19 m^2 juga memiliki nilai COP yang paling tinggi disaat temperatur kontrol 22^oC, 20^oC, dan 18^oC. Pada luasan heatsink 0.12 m^2 dengan temperatur kontrol 18^oC memiliki nilai COP yang paling rendah yaitu 0.78. Rendahnya nilai COP disetiap temperatur kontrol 22^oC, 20^oC, dan 18^oC karena termoelektrik bekerja berat dan pembuangan panas pada *heatsink* terminal panas menjadi kurang maksimal akibat luasan yang kecil dengan kecepatan kipas yang kurang. Hal inilah yang menjadikan temperatur terminal panas menjadi tinggi dan mengakibatkan perpindahan panas konduksi menuju terminal dingin pada elemen termoelektrik.

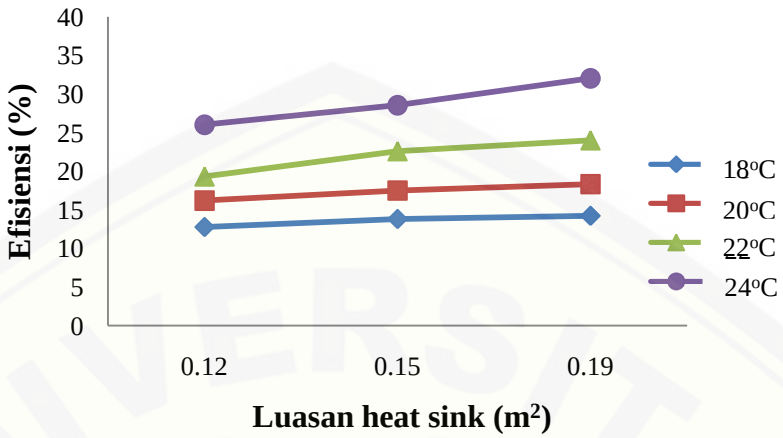
4.2.3 Analisis Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara jumlah kalor yang bekerja pada sistem yaitu kalor bentuk dari kotak pendingin, kalor *heatsink* terminal dingin, dan kalor beban pendinginan udara terhadap daya listrik yang masuk. Data hasil perhitungan efisiensi sistem dari semua variasi luasan *heatsink* dan temperatur kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil perhitungan efisiensi sistem

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	η (%)
18	0.12	25.18	18	12.5	20.4	36.9	26.7	27.6	12.75
	0.15	23.23	18	12.3	20.0	35.1	26.5	27.4	13.80
	0.19	22.24	18	12.0	19.9	33.9	26.4	27.3	14.21
20	0.12	9.42	20	14.5	22.6	34.2	27.4	27.7	16.18
	0.15	8.31	20	14.4	22.4	32.9	27.2	27.6	17.49
	0.19	8.13	20	14.1	22.1	31.8	27.1	27.4	18.32
22	0.12	5.11	22	16.3	24.4	33.4	27.4	27.7	19.31
	0.15	4.42	22	15.8	23.9	32.3	27.3	27.5	22.59
	0.19	4.20	22	15.4	23.9	31.6	27.3	27.6	24.0
24	0.12	2.54	24	18.2	26.6	32.4	27.7	27.8	26.01
	0.15	2.36	24	18.0	26.4	31.6	27.6	27.7	28.53
	0.19	2.15	24	17.6	26.1	30.8	27.2	27.4	32.02

Digital Repository Universitas Jember



Gambar 4.3 Grafik luasan *heatsink* dan temperatur kontrol terhadap efisiensi

Pada Gambar 4.3 nilai efisiensi sistem cenderung mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan luasan *heatsink* terminal panas termoelektrik. Kenaikan efisiensi ini banyak dipengaruhi oleh lamanya waktu proses pendinginan, faktor bentuk kotak pendingin, dan beban pendinginan udara maupun *heat sink* pendingin. Dari beberapa pengaruh tersebut, faktor lamanya proses pendinginan adalah faktor yang mendominasi terhadap nilai beban pendinginan. Semakin rendah temperatur kontrol, maka lama proses pendinginan juga semakin panjang dan membuat kalor beban udara dengan kalor beban *heatsink* aluminium terminal dingin menjadi kecil. Selain itu, lama waktu pendinginan dipengaruhi oleh temperatur rendah dari *heatsink* yang kurang cepat bercampur dengan udara di dalam kotak pendingin.

Daya listrik yang masuk merupakan bagian yang terpenting dan sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi sistem. Dalam penelitian ini daya listrik yang digunakan termasuk dan hanya memiliki nilai efisiensi sistem yang kecil. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor seperti: kurang rapatnya penutup kotak pendingin, dingin masih dapat tembus melalui celah elemen termoelektrik dengan aluminium, dan panas yang berlebih pada sisi terminal panas sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur kontrol. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan beberapa perlakuan khusus seperti: pemberian lem *silicon* pada bagain lubang tempat

Digital Repository Universitas Jember

termoelektrik dipasang, memberi lem pada lubang kabel termokopel, menambakan seal pada bagian tutup sehingga kotak dapat tertutup dengan rapat, dan menambahakan kecepatan kipas agar panas yang dihasilkan dapat terbuang ke udara lingkungan secara cepat.

Di dalam penelitian ini, dapat diketahui nilai efisiensi tertinggi yaitu 32.02% terjadi pada luasan *heat sink* 0.19 m^2 dengan temperatur kontrol 24^oC karena kerja yang dibutuhkan termoelektrik sangat pendek dan tidak terlalu berat, sebaliknya nilai efisiensi terendah yaitu 12.75% terjadi pada luasan 0.12 m^2 dengan temperatur kontrol 18^oC. Nilai efisiensi yang didapat juga berbanding lurus dengan nilai COP elemen termoelektrik. Nilai COP dan efisiensi termoelektrik memiliki nilai tertinggi yang sama pada saat temperatur kontrol 24^oC dengan luasan *heatsink* 0.19 m^2. Jadi dengan penelitian ini, dapat diketahui bahwa luasan *heatsink* terminal panas termoelektrik 0.19 m^2 sangat cocok untuk digunakan sebagai pembuang panas.

Digital Repository Universitas Jember

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa dari pengaruh luasan *heatsink* terhadap unjuk kerja *portable mini refrigerator* dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

a. Luasan *heatsink* 0.19 m^2 memiliki temperatur *heatsink* terminal panas tertinggi mencapai 30.8^oC pada temperatur kontrol 24^oC dan luasan *heatsink* 0.12 m^2 dengan temperatur kontrol 18^oC memiliki temperatur *heatsink* terendah mencapai 36.9^oC.
b. Pendinginan elemen termoelektrik dengan luasan *heatsink* 0.19 m^2 mempunyai nilai COP tertinggi mencapai 1.61 pada temperatur kontrol 24^oC dan memiliki nilai COP terendah mencapai 0.78 pada temperatur kontrol 18^oC dengan luasan 0.12 m^2
c. Efisiensi sistem mengalami kenaikan seiring dengan naiknya temperatur kontrol dan luasan *heatsink* terminal panas termoelektrik. Nilai efisiensi sistem tertinggi mencapai 32.02 % pada temperatur kontrol 24^oC dengan luasan *heatsink* 0.19 m^2 dan terendah mencapai 12.75% pada temperatur kontrol 18^oC dengan luasan 0.12 m^2.

Digital Repository Universitas Jember

5.2 Saran

Dari hasil penelitian mengenai Analisis Pengaruh Variasi Luasan *Heatsink* Terhadap Unjuk Kerja *Portable Mini Refrigerator*, maka disarankan beberapa hal berikut :

a. Kajian ini masih terbatas pada analisa menggunakan satu elemen termoelektrik dengan variasi luasan *heatsink* pembung panas. Oleh karena itu, analisa dan penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menambah elemen termoelektrik sehingga dapat mempercepat proses pendinginan dan dapat memperoleh hasil yang lebih baik guna meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin.
b. Variasi dapat dilakukan pada kecepatan kipas *heatsink* terminal panas. Variasi ini akan berpengaruh besar terhadap nilai COP dan efisiensi dalam kotak.
c. Pengontrolan temperatur dalam kotak sebaiknya menggunakan termostat digital agar lebih persisi.
d. Hasil ini merupakan data pendukung lanjutan yang dapat digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan dalam mengembangkan pendinginan termoelektrik.

Digital Repository Universitas Jember

DAFTAR PUSTAKA

Agung, Adinugraha, Wijaksana, Suarnadwipa. 2010. Analisis Performansi Sistem Pendingin Ruangan Dikombinasokan dengan *Water Heater*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram Vol. 4, No.1, April 2010: 57-61

Chakib, Alaoui. 2011. *Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation*. International Journal of Engineering Vol 5 Issue 1 (2011).

Barma, Riaz, Saidur, Long. 2015. Estimation of thermoelectric power generation by recovering waste heatfrom Biomass fired thermal oil heater. Energy and Management Journal 98 (2015) 303–313.

Deepcool.2009.CoolingPaste.http://www.deepcool.com/product/dcoolingaccessory/accessory/2013-12/48_652.html [9 juli 2015]

Francis, O., Lekwuwa, C. J., dan John, I. H. 2013. *Performance Evaluation of a Thermoelectric Refrigerator*. International Journal of Engineering and Innovative Technology Vol.2 Issue 7, Januari 2013.

Furukawa. 2014. Aliran Elektron. http://www.furukawa.co.jp/english/museum/floor3/03/27.htm. [10 September 2014].

Holman, J.P. 1993. Perpindahan Kalor Edisi keenam. Penerjemah: Erlangga, Jakarta.

Jungsijinda, S., Vora-ud, A., dan Seetawan, T. 2010. *Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance*. Procedia Engineering 8 (2011) 154–159.

Kristanta, arif. 2012. kalor. https://arifkristanta.files.wordpress.com/2012/10/ kalor-jenis.png [17 Mei 2015]

Megaplastic. 2010. Grosir Plastik. http:// www.megamatahariplastic. [10 September 2014].

Nature. 2008. International Journal of Science. http://nature.com/nature/journal/v455/n7214/abs/nature07321.html. [5 Mei 2015].

Oktarina, D. H. 2006. Kajian Karakteristik Modul Termoelektrik Untuk Sistem Penyimpanan Dingin . Skripsi Mahasiswa Teknologi Pertanian IPB Tahun 2006.Journal of Emerging Techonolgy and Advanced Engineering Vol. 3 Issue 3, Februari 2013 (362-367).

Digital Repository Universitas Jember

Prapto. 2013. Termoelektrik. http: / /praptofi11. wordpress.com /2013/ 10/29/modul-praktikum-termoelektrik/ [10 September 2014].

Rawat, M. K., Chattopadhyay, H., dan Neogi, S. 2013. *A Review On Development of Thermoelectric Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Novel Potential Green Refrigeration and Air Conditioning Technology*. International Journal of Emerging Techonolgy and Advanced Engineering Vol. 3 Issue 3, Februari 2013 (362-367).

Tambunan, Armansyah. 2000. Diktat Teknik Pendinginan. Bogor: Teknik Pertanian Bogor.

Tinjian. 2014. Heat Pipes and Heat sinks Profesional Manufacturer. http://www.skyd-ow.com/heat%20sinks.html [10 September 2014].

Wallen. 2009. Thermoelectric. http: wallentech.en.made-in china.com/ product/x/X xMSJXOHUbIcY/ChinaThermoelectric-Cooling-Modules-TEC-12706. html [29 Juli 2015].

Wakefield. 2009. Extrusion heatsink. http://www.wakefield vette.com/products/natur al-convection.aspx [29 Juli 2015].

Digital Repository Universitas Jember

LAMPIRAN 1. TABEL DATA

Tabel A1.1 Hasil pengujian pertama menit ke-1

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	25.19	18	11.7	20.5	37.5	26.5	27.5
	0.15	23.26	18	11.2	20.1	35.3	26.6	27.3
	0.19	22.25	18	10.7	19.8	34.1	26.7	27.3
20	0.12	9.47	20	13.0	22.8	34.7	27.3	27.7
	0.15	8.35	20	13.2	22.5	33.4	27.2	27.2
	0.19	8.16	20	12.8	21.9	31.9	26.9	27.2
22	0.12	5.08	22	15.7	24.7	33.8	27.3	27.5
	0.15	4.48	22	15.2	24.1	32.5	27.5	27.7
	0.19	4.20	22	14.8	23.8	31.7	27.3	27.4
24	0.12	2.48	24	17.5	26.5	32.8	27.6	27.7
	0.15	2.41	24	17.6	26.3	31.7	27.6	27.6
	0.19	2.14	24	16.3	26.2	30.9	26.9	27.4

Tabel A1.2 Hasil pengujian pertama menit ke-5

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	30.19	18	13.9	20.1	36.6	26.9	27.5
	0.15	28.26	18	13.7	19.8	34.7	26.8	27.4
	0.19	27.25	18	13.8	19.6	33.6	26.6	27.5
20	0.12	14.47	20	15.8	22.4	34.0	27.4	27.6
	0.15	13.35	20	15.9	22.3	32.9	27.1	27.3
	0.19	13.16	20	15.5	22.1	31.2	27.1	27.3
22	0.12	10.08	22	17.7	24.6	33.2	27.4	27.7
	0.15	9.48	22	16.6	23.8	31.8	27.3	27.5
	0.19	9.20	22	16.2	23.8	31.2	27.1	27.5
24	0.12	7.48	24	19.1	26.5	32.1	27.6	27.8
	0.15	7.41	24	18.8	26.2	31.2	27.5	27.7
	0.19	7.14	24	18.6	25.9	30.4	27.0	27.4

Digital Repository Universitas Jember

Tabel A2.1 Hasil pengujian kedua menit ke-1

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	25.09	18	11.3	20.5	37.2	26.8	27.4
	0.15	23.14	18	11.2	20.3	35.5	26.3	27.2
	0.19	22.30	18	10.8	20.6	34.4	26.5	27.4
20	0.12	9.40	20	13.3	22.6	34.6	27.3	27.6
	0.15	8.22	20	13.0	22.5	33.6	27.2	27.3
	0.19	8.11	20	13.1	22.2	32.2	27.3	27.5
22	0.12	5.17	22	15.4	24.5	33.9	27.5	27.8
	0.15	4.41	22	15.3	24.0	32.7	27.2	27.6
	0.19	4.28	22	15.0	24.3	32.0	27.4	27.7
24	0.12	2.56	24	17.9	26.8	33.2	27.8	27.9
	0.15	2.25	24	17.5	26.6	32.2	27.9	27.9
	0.19	2.12	24	16.8	26.3	31.3	27.6	27.7

Tabel A2.2 Hasil pengujian kedua menit ke-5

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	30.09	18	13.7	20.4	36.5	26.7	27.7
	0.15	28.14	18	13.4	19.7	34.8	26.5	27.5
	0.19	27.30	18	13.0	19.7	33.6	26.5	27.6
20	0.12	14.40	20	16.0	22.5	33.8	27.2	27.6
	0.15	13.22	20	15.8	22.0	32.9	27.3	27.4
	0.19	13.11	20	15.4	21.8	31.4	27.1	27.4
22	0.12	10.17	22	17.1	24.1	32.7	27.4	27.6
	0.15	9.41	22	16.6	23.7	31.9	27.0	27.4
	0.19	9.28	22	16.4	23.9	31.4	27.3	27.6
24	0.12	7.56	24	18.9	26.6	32.8	27.7	27.7
	0.15	2.25	24	18.7	26.5	31.6	27.3	27.6
	0.19	2.12	24	19.0	25.9	30.5	27.2	27.4

Digital Repository Universitas Jember

Tabel A3.1 Hasil pengujian ketiga menit ke-1

Temperatur Kontrol (°C)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (°C)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	25.25	18	11.4	20.5	37.4	26.6	27.6
	0.15	23.30	18	11.1	20.2	35.6	26.5	27.4
	0.19	22.18	18	10.9	20.1	34.0	26.3	27.2
20	0.12	9.38	20	13.5	22.6	34.5	27.3	27.7
	0.15	8.34	20	13.2	22.4	33.7	27.2	27.4
	0.19	8.18	20	12.8	22.2	32.3	27.0	27.3
22	0.12	5.12	22	15.3	24.5	33.6	27.4	27.6
	0.15	4.37	22	15.0	24.0	32.9	27.4	27.5
	0.19	4.13	22	14.8	24.3	31.9	27.3	27.5
24	0.12	2.58	24	17.4	26.8	33.1	27.8	27.9
	0.15	2.40	24	17.0	26.6	32.0	27.6	27.7
	0.19	2.21	24	16.5	26.4	30.8	27.4	27.5

Tabel A3.2 Hasil pengujian ketiga menit ke-5

Temperatur Kontrol (°C)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (°C)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	30.25	18	13.2	20.2	36.0	26.7	27.7
	0.15	28.30	18	13.0	20.0	34.8	26.4	27.4
	0.19	27.18	18	12.8	19.8	33.7	26.3	27.3
20	0.12	14.38	20	15.4	22.8	33.5	27.4	27.6
	0.15	13.34	20	15.3	22.6	32.7	27.1	27.3
	0.19	13.18	20	14.9	22.1	31.5	27.2	27.4
22	0.12	10.12	22	16.6	23.9	33.0	27.2	27.7
	0.15	9.37	22	16.2	23.7	31.9	27.4	27.5
	0.19	9.13	22	15.8	23.5	31.3	27.3	27.5
24	0.12	7.58	24	18.4	26.6	32.7	27.7	27.8
	0.15	7.40	24	18.6	26.2	31.5	27.5	27.7
	0.19	7.21	24	18.3	25.7	30.1	27.3	27.5

Digital Repository Universitas Jember

Tabel A4.1 Hasil rata-rata keseluruhan

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
18	0.12	25.18	18	12.5	20.4	36.9	26.7	27.6
	0.15	23.23	18	12.3	20.0	35.1	26.5	27.4
	0.19	22.24	18	12.0	19.9	33.9	26.4	27.3
20	0.12	9.42	20	14.5	22.6	34.2	27.4	27.7
	0.15	8.31	20	14.4	22.4	32.9	27.2	27.6
	0.19	8.13	20	14.1	22.1	31.8	27.1	27.4
22	0.12	5.11	22	16.3	24.4	33.4	27.4	27.7
	0.15	4.42	22	15.8	23.9	32.3	27.3	27.5
	0.19	4.20	22	15.4	23.9	31.6	27.3	27.6
24	0.12	2.54	24	18.2	26.6	32.4	27.7	27.8
	0.15	2.36	24	18.0	26.4	31.6	27.6	27.7
	0.19	2.15	24	17.6	26.1	30.8	27.2	27.4

Tabel B1.1 Dampak temperatur kontrol dan luasan *heat sink* terhadap COP

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	COP
18	0.12	25.18	18	12.5	20.4	36.9	26.7	27.6	0.78
	0.15	23.23	18	12.3	20.0	35.1	26.5	27.4	0.86
	0.19	22.24	18	12.0	19.9	33.9	26.4	27.3	0.96
20	0.12	9.42	20	14.5	22.6	34.2	27.4	27.7	1.10
	0.15	8.31	20	14.4	22.4	32.9	27.2	27.6	1.23
	0.19	8.13	20	14.1	22.1	31.8	27.1	27.4	1.28
22	0.12	5.11	22	16.3	24.4	33.4	27.4	27.7	1.34
	0.15	4.42	22	15.8	23.9	32.3	27.3	27.5	1.40
	0.19	4.20	22	15.4	23.9	31.6	27.3	27.6	1.52
24	0.12	2.54	24	18.2	26.6	32.4	27.7	27.8	1.53
	0.15	2.36	24	18.0	26.4	31.6	27.6	27.7	1.57
	0.19	2.15	24	17.6	26.1	30.8	27.2	27.4	1.61

Digital Repository Universitas Jember

Tabel B1.2 Dampak temperatur kontrol dan luasan *heat sink* terhadap efisiensi sistem

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Waktu (Menit)	Temperatur (^oC)						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	η (%)
18	0.12	25.18	18	12.5	20.4	36.9	26.7	27.6	12.75
	0.15	23.23	18	12.3	20.0	35.1	26.5	27.4	13.8
	0.19	22.24	18	12.0	19.9	33.9	26.4	27.3	14.21
20	0.12	9.42	20	14.5	22.6	34.2	27.4	27.7	16.18
	0.15	8.31	20	14.4	22.4	32.9	27.2	27.6	17.49
	0.19	8.13	20	14.1	22.1	31.8	27.1	27.4	18.32
22	0.12	5.11	22	16.3	24.4	33.4	27.4	27.7	19.31
	0.15	4.42	22	15.8	23.9	32.3	27.3	27.5	22.59
	0.19	4.20	22	15.4	23.9	31.6	27.3	27.6	24.0
24	0.12	2.54	24	18.2	26.6	32.4	27.7	27.8	26.01
	0.15	2.36	24	18.0	26.4	31.6	27.6	27.7	28.53
	0.19	2.15	24	17.6	26.1	30.8	27.2	27.4	32.02

Tabel B1.3 Hasil rata-rata arus dan tegangan listrik

Temperatur Kontrol (^oC)	Luasan (m^2)	Pengujian 1		Pengujian 2		Pengujian 3	
		V	I	V	I	V	I
18	0.12	2.58	10.66	2.59	10.69	2.58	10.65
	0.15	2.56	10.64	2.58	10.66	2.57	10.64
	0.19	2.57	10.63	2.56	10.64	2.56	10.63
20	0.12	2.59	10.67	2.58	10.66	2.6	10.7
	0.15	2.57	10.63	2.59	10.67	2.59	10.68
	0.19	2.56	10.64	2.56	10.65	2.57	10.63
22	0.12	2.58	10.66	2.58	10.66	2.59	10.67
	0.15	2.57	10.63	2.56	10.64	2.58	10.65
	0.19	2.56	10.62	2.55	10.62	2.56	10.63
24	0.12	2.59	10.68	2.6	10.71	2.58	10.65
	0.15	2.57	10.62	2.58	10.64	2.56	10.61
	0.19	2.58	10.65	2.57	10.65	2.57	10.63
Rata-rata		10.64	2.57	10.65	2.58	10.64	2.58
Rata-rata keseluruhan		(V1+V2+V3)/3 = 10.64 Volt			(I1+I2+I3)/3 = 2.58 A		

Digital Repository Universitas Jember

LAMPIRAN 2. PERHITUNGAN

A. COP dan Efisinsi luasan 0.12 m^2 Temperatur Kontrol 18^oC

1. COP

Diketahui:

L = 0.12 m^2	$T_{kontrol}$ = 18^oC	n = 128
T_2 = 12.5 ^oC = 285.5 ^oK	Q_{max} = 53 Watt	R = 1.98 ohm
T_4 = 36.9 ^oC = 309.9 ^oK	I = 2.58 A	ΔT_{max}= 68 ^oK

$Z = \Delta T_{max} / (0.5\ T2^2)$

$= 68 /(0.5 \times 285.5^2)$

$= 0.00184$

$$U = \frac{Q_{max}}{(0.5 \times Z \times T2^2) - (T4 - T2)}$$

$$= \frac{53}{(0.5\ x\ 0.00184\ x\ (285.5^2)) - (309.9 - 285.5)}$$

$$= \frac{53}{50.59}$$

$= 1.048$

$$\alpha_{pn} = \sqrt{\frac{Z \times U \times R}{n^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.00184 \times 1.048 \times 1.98}{128^2}}$$

$= 4.827 \times 10^{-4}$ V/K

$Q = n (\alpha_{pn}) T_2\ I - U(T_4 - T_2) - 1/2 I^2 R$

$= 128 (4.827 \times 10^{-4}) (285.5) (2.58) - 1.048(309.9-285.5) -1/2 (2.58^2) 1.98$

$= 45.51 - 25.57 - 6.59$

$= 13.35$ W.

Digital Repository Universitas Jember

$W = n (\alpha_{pn}) (T_4-T_2) I + I^2 R$

$= 128 (4.827 \times 10^{-4}) (309.9-285.5) 2.58 + (2.58^2) 1.98$

$= 3.89 + 13.18$

$= 17.07$ W

$COP = Q/W$

$= 13.35 / 17.07$

$= 0.78$

2. Efisiensi

1. Faktor bentuk konduksi kotak pendingin

Diketahui:

$P_{kotak} = 230$ mm $= 0.23$ m $\quad l_{kotak} = 200$ mm $= 0.2$ m

$t_{kotak} = 200$ mm $= 0.2$ m $\quad x_{kotak} = 15$ mm $= 0.015$ m

Luas (A1)$= P \times l = 0.23 \times 0.2 = 0.05$ m^2

Luas (A2) $= l \times t = 0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2

Luas (A3) $= P \times t = 0.23 \times 0.2 = 0.05$ m^2

$A_{total} = 2 (A1) + 2(A2) + 2(A3)$

$= 2 (0.05) + 2(0.04) + 2(0.05)$

$= 0.28$ m^2.

$S_{dinding} = A_{total} / x_{kotak}$

$= 0.28/ 0.015$

$= 18.67$ m.

$S_{tepi} = (0.54 \times P) + (0.54 \times l) + (0.54 \times t)$

S1 $= 0.54 \times 0.23 = 0.1242$ m

S2 $= 0.54 \times 0.2 = 0.108$ m

S3 $= 0.54 \times 0.2 = 0.108$ m

$S_{dinding} = 4 S1 + 4S2 + 4S3$

$= 4 (0.1242) + 4(0.108) + 4(0.108)$

$= 1.4$ m

Digital Repository Universitas Jember

$S_{sudut} = 0.15 \times (x_{kotak})$

$= 0.15 \times 0.015$

$= 0.0023$ m

$S_{sudut\ total} = 8 \times 0.0023 = 0.02$ m

$S_{total\ seluruh} = 18.67+1.4 + 0.023 = 20.1$ m

$K_{polyurethane} = 0.02$ W/mK

$T_3 = 20.4\ ^oC = 293.4\ ^oK$

$T_5 = 26.7\ ^oC = 299.7\ ^oK$

$q_{bentuk} = K\ S\ \Delta T$

$= 0.02 \times 20.1 \times (299.7-293.4)$

$= 2.5326$ W.

2. Beban aluminium terminal dingin

Diketahui:

$m_{aluminium} = 112$ g $= 0.112$ Kg. $T_{awal} = 28^oC = 301^oK$ t = 1510.8 detik

$C_{aluminium} = 900$ J/Kg^{o}K $T_2 = 13.5^oC = 286.5^oK$

$q_{aluminium} = m\ C\ \Delta T / t$

$= 0.112 \times 900 \times (301-286.5) / 1510.8$

$= 0.97$ W

3. Beban udara dalam kotak pendingin

Diketahu:

$V = p \times l \times t$ $C_{udara} = 1000$ J/Kg^{o}K $T_1 = 18^oC = 291^oK$

$= 0.2 \times 0.17 \times 0.17$ $\rho_{udara} = 1.2$ Kg/m^3 $T_a = 28^oC = 301^oK$

$= 0.00578$ $= 5.78 \times 10^{-3}$ m^3 t = 25.18 menit = 1510.8 detik

$m = \rho\ V$

$= 1.2 \times 0.00578$

$= 0.007$ Kg

Digital Repository Universitas Jember

q_{udara}= m C ΔT

= 0.007 1000 (301-291)

= 7 x 10 / 1510.8

= 70 J / 1510.8

= 0.046 Watt

q_{total} = $q_{bentuk\ konduksi}$ + $q_{aluminium\ dingin}$ + $q_{beban\ udara}$

= 2.5326 + 0.97 + 0.046 = 3.5 W

P_{input} = V x I

= 10.64 V x 2.58 A

= 27.45 W

Efisiensi (η) = (q_{total} / P_{input}) x 100%

= (3.5 / 27.45) x 100%

= 12.75 %.

B. COP dan Efisinsi luasan 0.15 m^2 Temperatur Kontrol 18^oC

1. COP

Diketahui:

L = 0.15 m^2	$T_{kontrol}$ = 18^oC	n = 128
T_2 = 12.3 ^oC = 285.3 ^oK	Q_{max} = 53 Watt	R = 1.98 ohm
T_4 = 35.1 ^oC = 308.1 ^oK	I = 2.58 A	ΔT_{max} = 68 ^oK

$Z = \Delta T_{max} / (0.5\ T_2^2)$

$= 68 /(0.5 \times 285.3^2)$

= 0.00167

$$U = \frac{Q_{max}}{(0.5 \times Z \times T2^2) - (T4 - T2)}$$

$$= \frac{53}{(0.5\ x\ 0.00167\ x\ (285.3^2)) - (308.1 - 285.3)}$$

Digital Repository Universitas Jember

$$= \frac{53}{45.17}$$

$= 1.17$

$$\alpha_{pn} = \sqrt{\frac{Z \times U \times R}{n^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.00167 \times 1.17 \times 1.98}{128^2}}$$

$= 4.86 \times 10^{-4}$ V/K

$Q = n (\alpha_{pn}) T2\ I - U(T_4-T_2) - 1/2I^2R$

$= 128\ (4.86 \times 10^{-4})\ (285.3)\ (2.58) - 1.17(308.1-285.3)\ -1/2\ (2.58^2)\ 1.98$

$= 45.79 - 26.68 - 6.59$

$= 12.52$ W

$W = n (\alpha_{pn})\ (T_4-T_2)\ I + I^2\ R$

$= 128\ (4.86 \times 10^{-4})\ (308.1-285.3)\ 2.58 + (2.58^2)\ 1.98$

$= 1.42 + 13.18$

$= 14.6$ W

$COP = Q/W$

$= 12.52/\ 17.07$

$= 0.86$

2. Efisiensi

1. Faktor bentuk konduksi

Diketahui:

$P_{kotak} = 230$ mm $= 0.23$ m $\quad l_{kotak} = 200$ mm $= 0.2$ m

$t_{kotak} = 200$ mm $= 0.2$ m $\quad x_{kotak} = 15$ mm $= 0.015$ m

Digital Repository Universitas Jember

Luas (A1)= P x l = 0.23 x 0.2 = 0.05 m^2

Luas (A2) = l x t = 0.2 x 0.2 = 0.04 m^2

Luas (A3) = P x t = 0.23 x 0.2 = 0.05 m^2

A_{total} = 2 (A1) + 2(A2) + 2(A3)

= 2 (0.05) + 2(0.04) + 2(0.05)

= 0.28 m^2.

$S_{dinding} = A_{total} / x_{kotak}$

= 0.28/ 0.015

= 18.67 m.

S_{tepi} = (0.54 x P) + (0.54 x l) + (0.54 x t)

S1 = 0.54 x 0.23 = 0.1242 m

S2 = 0.54 x 0.2 = 0.108 m

S3 = 0.54 x 0.2 = 0.108 m

$S_{dinding}$ = 4 S1 + 4S2 + 4S3

= 4 (0.1242) + 4(0.108) + 4(0.108)

= 1.4 m

$S_{sudut} = 0.15 \times (x_{kotak})$

= 0.15 x 0.015

= 0.0023 m

$S_{sudut\ total}$ = 8 x 0.0023 = 0.02 m

$S_{total\ seluruh}$ = 18.67+1.4 + 0.023 = 20.1 m

$K_{polyurethane}$ = 0.02 W/mK

T_3 = 20.0 ^oC = 293^oK

T_5 = 26.5 ^oC = 299.5^oK

$q_{bentuk} = K\ S\ \Delta T$

= 0.02 x 20.1 x (299.5-293)

= 2.61W.

Digital Repository Universitas Jember

2. Beban aluminium terminal dingin

Diketahui:

$m_{aluminium}$ =112 g =0.112 Kg. T_{awal} = 28^{o}C = 301^{o}K t = 1393.8 detik

$C_{aluminium}$ = 900 J/Kg^{o}K T_2 = 12.3^{o}C = 285.3^{o}K

$q_{aluminium}$ = m C ΔT / t

= 0.112 x 900 x (301-285.3) / 1393.8

= 1.14 W

3. Beban udara dalam kotak pendingin

Diketahu:

V = p x l x t C_{udara} = 1000 J/Kg^{o}K T_1 = 18^{o}C = 291^{o}K

= 0.2 x 0.17 x0.17 ρ_{udara} = 1.2 Kg/m^{3} T_a = 28^{o}C = 301^{o}K

= 0.00578 = 5.78 x 10^{-3} m^{3} t = 23.23 menit = 1393.8 detik

m = ρ V

= 1.2 x 0.00578

= 0.007 Kg

q_{udara}= m C ΔT

= 0.007 1000 (301-291)

= 7 x 10 / 1393.8

= 70 J / 1393.8

= 0.05Watt

q_{total} = $q_{bentuk\ konduksi}$ + $q_{aluminium\ dingin}$ + $q_{beban\ udara}$

= 2.613 + 1.14 + 0.05 = 3.79 watt

P_{input} = V x I

= 10.64 V x 2.58 A

= 27.45 W

Digital Repository Universitas Jember

Efisiensi (η) = (q_{total} / P_{input}) x 100%

= (3.79 / 27.45) x 100%

= 13.8 %.

C. COP dan Efisinsi luasan 0.19 m^2 Temperatur Kontrol 18^{o}C

1. COP

Diketahui:

L = 0.19 m^2 | $T_{kontrol}$ = 18^{o}C | n = 128

T_2 = 12.0 ^{o}C = 285^{o}K | Q_{max} = 53 Watt | R = 1.98 ohm

T_4 = 33.9 ^{o}C = 306.9^{o}K | I = 2.58 A | ΔT_{max} = 68 ^{o}K

$Z = \Delta T_{max} / (0.5\ T2^2)$

$= 68 /(0.5 \times 285^2)$

$= 0.001674$

$$U = \frac{Q_{max}}{(0.5 \times Z \times T2^2) - (T4 - T2)}$$

$$= \frac{53}{(0.5\ x\ 0.001674\ x\ (285^2)) - (306.9 - 285)}$$

$$= \frac{53}{45.92}$$

$= 1.15$

$$\alpha_{pn} = \sqrt{\frac{Z \times U \times R}{n^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.001674 \times 1.15 \times 1.98}{128^2}}$$

$= 4.82 \times 10^{-4}$ V/K

$Q = n (\alpha_{pn}) T_2\ I - U(T_4 - T_2) - 1/2 I^2 R$

$= 128 (4.82 \times 10^{-4}) (285) (2.58) - 1.15(306.9-285.) -1/2 (2.58^2) 1.98$

$= 45.37 - 25.18 - 6.59$

$= 13.6$ W

Digital Repository Universitas Jember

$W = n (\alpha_{pn}) (T_4-T_2) I + I^2 R$

$= 128 (4.82 \times 10^{-4}) (306.9-285) 2.58 + (2.58^2) 1.98$

$= 1.35 + 13.18$

$= 14.53W$

$COP = Q/W$

$= 13.6 / 14.53$

$= 0.94$

2. Efisiensi

1. Faktor bentuk konduksi

Diketahui:

P_{kotak} = 230 mm = 0.23 m l_{kotak} = 200 mm = 0.2 m

t_{kotak} = 200 mm = 0.2 m x_{kotak} = 15 mm = 0.015 m

Luas (A1)= P x l = 0.23 x 0.2 = 0.05 m^2

Luas (A2) = l x t = 0.2 x 0.2 = 0.04 m^2

Luas (A3) = P x t = 0.23 x 0.2 = 0.05 m^2

A_{total} = 2 (A1) + 2(A2) + 2(A3)

= 2 (0.05) + 2(0.04) + 2(0.05)

= 0.28 m^2.

$S_{dinding} = A_{total} / x_{kotak}$

= 0.28/ 0.015

= 18.67 m.

S_{tepi} =(0.54 x P) + (0.54 x l) + (0.54 x t)

S1 = 0.54 x 0.23 = 0.1242 m

S2 = 0.54 x 0.2 = 0.108 m

S3 = 0.54 x 0.2 = 0.108 m

$S_{dinding}$ = 4 S1 + 4S2 + 4S3

= 4 (0.1242) + 4(0.108) + 4(0.108)

= 1.4 m

Digital Repository Universitas Jember

S_{sudut} = 0.15 x (x_{kotak})

= 0.15 x 0.015

= 0.0023 m

$S_{sudut\ total}$ = 8 x 0.0023 = 0.02 m

$S_{total\ seluruh}$ = 18.67+1.4 + 0.023 = 20.1 m

$K_{\ polyurethane}$ = 0.02 W/mK

T_3 = 19.9 ^oC = 292.9^oK

T_5 = 26.4 ^oC = 299.4^oK

q_{bentuk} = K S ΔT

= 0.02 x 20.1 x (299.4-292.9)

= 2.613W.

2. Beban aluminium terminal dingin

Diketahui:

$m_{aluminium}$ =112 g =0.112 Kg. T_{awal} = 28^oC = 301^oK t = 1334.4 detik

$C_{aluminium}$ = 900 J/Kg^oK T_2 = 12.0^oC = 285^oK

$q_{aluminium}$ = m C ΔT / t

= 0.112 x 900 x (301-285) / 1334.4

= 1.21 W

3. Beban udara dalam kotak pendingin

Diketahu:

V = p x l x t C_{udara} = 1000 J/Kg^oK T_1 = 18^oC = 291^oK

= 0.2 x 0.17 x0.17 ρ_{udara} = 1.2 Kg/m^3 T_a = 28^oC = 301^oK

= 0.00578 = 5.78 x 10^{-3} m^3 t = 22.24 menit = 1334.4 detik

m = ρ V

= 1.2 x 0.00578

= 0.007 Kg

Digital Repository Universitas Jember

q_{udara}= m C ΔT

= 0.007 1000 (301-291)

= 7 x 10 / 1334.4

= 70 J / 1334.4

= 0.053Watt

q_{total} = $q_{bentuk\ konduksi}$ + $q_{aluminium\ dingin}$ + $q_{beban\ udara}$

= 2.613 + 1.21 + 0.053 = 3.9 watt

P_{input} = V x I

= 10.64 V x 2.58 A

= 27.45 W

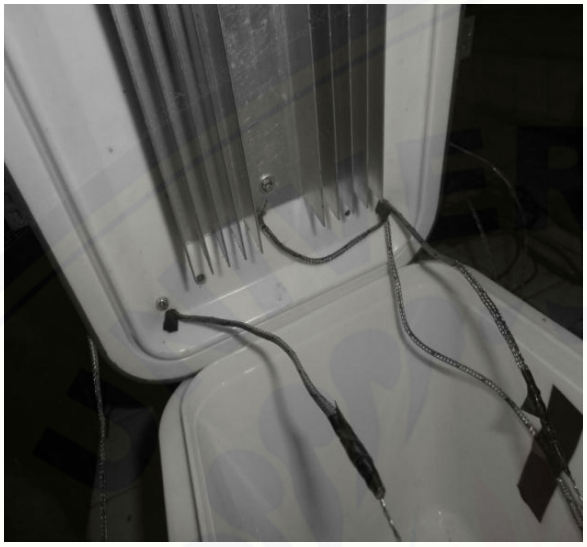
Efisiensi (η) = (q_{total} / P_{input}) x 100%

= (3.9 / 27.45) x 100%

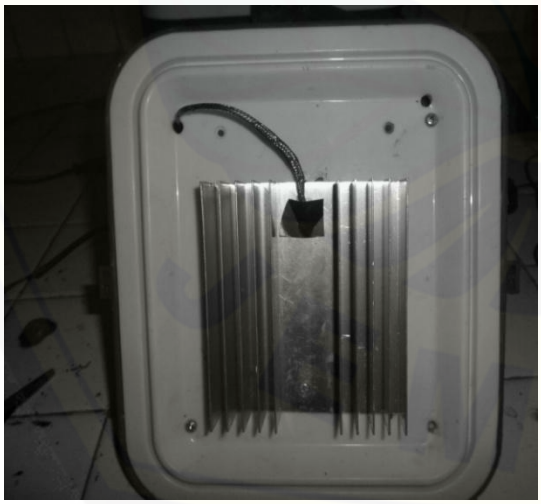
= 14.21 %.

Digital Repository Universitas Jember

LAMPIRAN 3. GAMBAR DAN ALAT PENGUJIAN

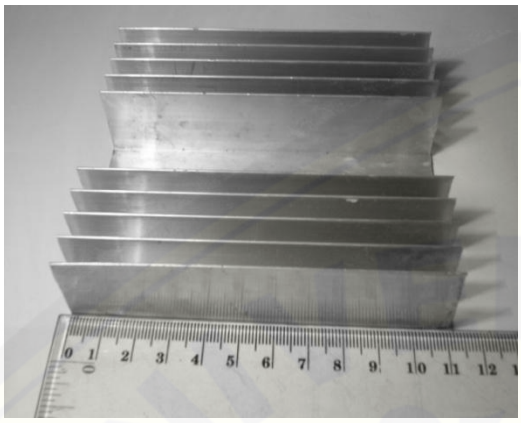


Bagian dalam kotak pendingin

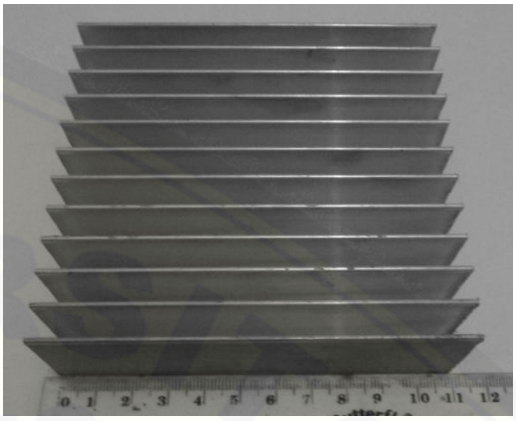


Heatsink terminal dingin Termokopel dalam kotak pendingin

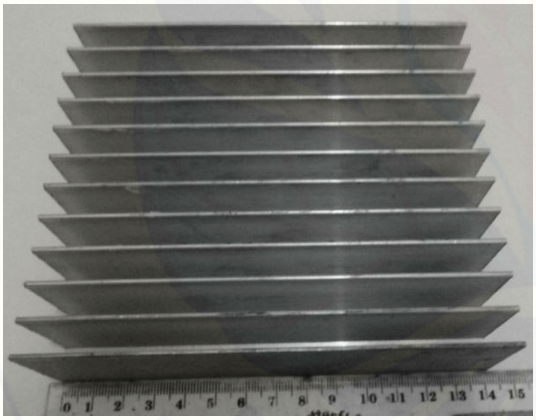
Digital Repository Universitas Jember



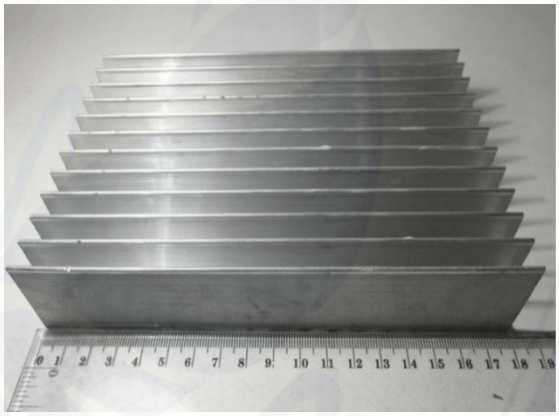
Heatsink terminal dingin



Heatsink terminal panas 0.12 m^2

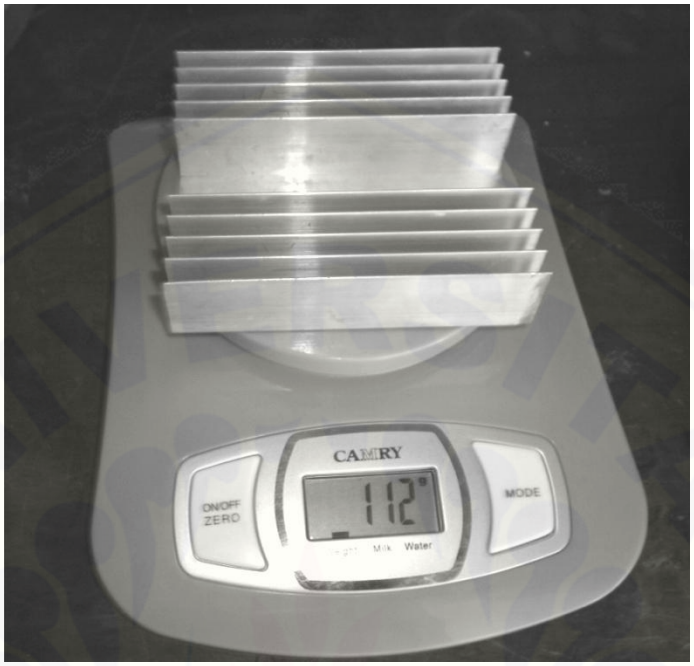


Heatsink terminal panas 0.15 m^2



Heatsink terminal panas 0.19 m^2

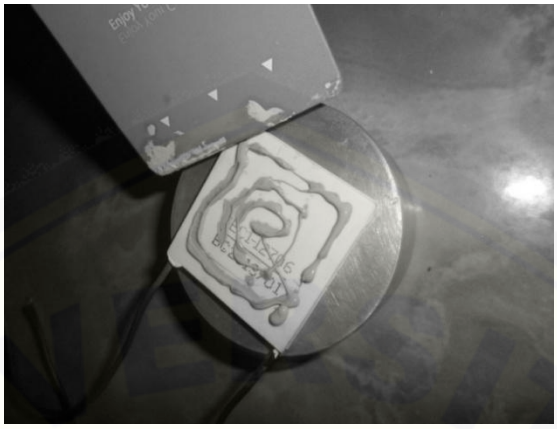
Digital Repository Universitas Jember



Penimbangan *Heatsink* dingin

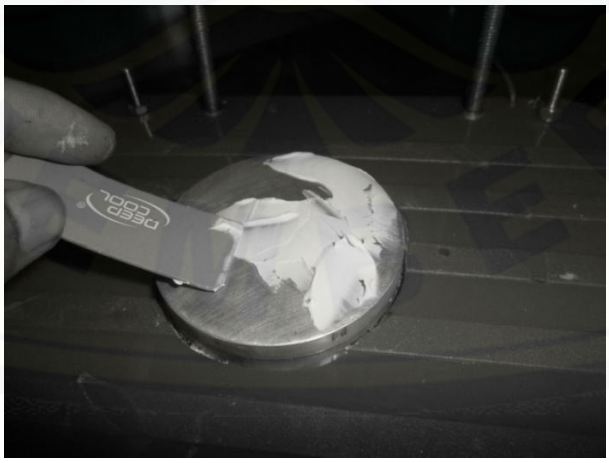
Bagian tutup kotak pendingin

Digital Repository Universitas Jember



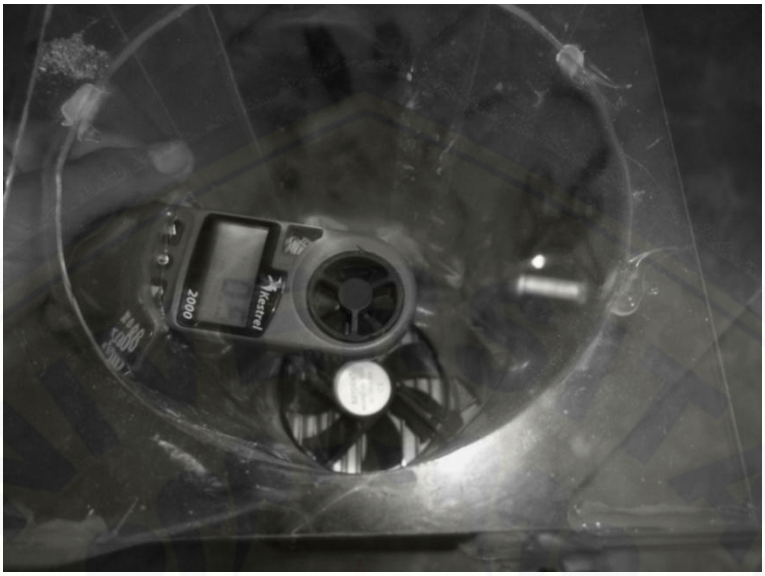
Pemberian *thermal paste* pada termoelektrik

Termoelektrik digabungkan dengan aluminium

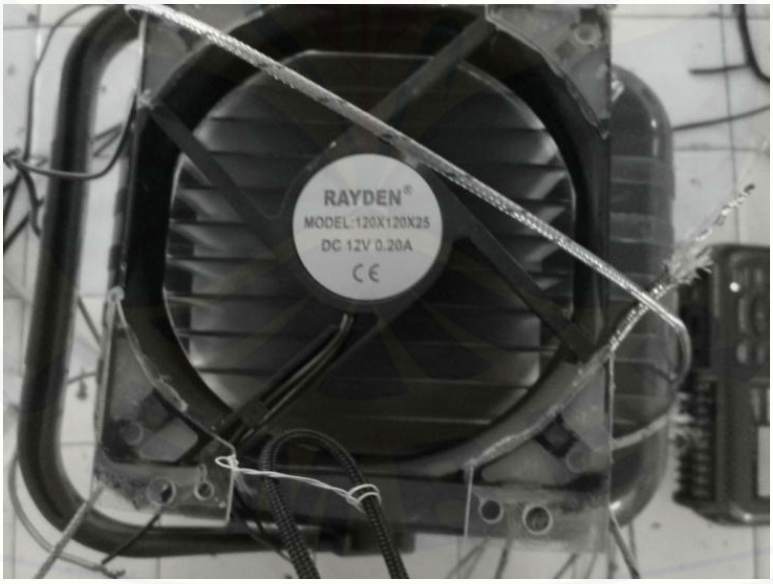


Proses pemberian *thermal paste* untuk *heatsink* panas

Digital Repository Universitas Jember



Pengukuran kecepatan udara kipas



Kotak pendingin tampak atas

Digital Repository Universitas Jember

Pengukuran arus dan tegangan listrik

Adaptor

Digital Repository Universitas Jember

Proses kontrol monitoring temperatur

Proses pembacaan temperatur oleh *data logger*