



TUGAS AKHIR TM 091585

**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK DAN
PERFORMA TEC (THERMOELECTRIC COOLER)
1-12706**

**FEBRI IDA BAGUS IBRAHIM
NRP 2113 106 002**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT TM 091585

**EXPERIMENTAL STUDY CHARACTERISTIC AND
PERFORMANCE OF TEC (THERMOELECTRIC
COOLER) 1-12706**

**FEBRI IDA BAGUS IBRAHIM
NRP 2113 106 002**

**Advisor
Dr. Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**STUDI EKSPERIMENTALKARAKTERISTIK DAN
PERFORMA TEC (THERMOELECTRIC COOLER)**

1-12706

TUGAS AKHIR


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

Oleh :

Febri Ida bagus Ibrahim

NRP. 2113 106 002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M. Eng. Scs. (Pembimbing)
NIP. 196604021989031002
 2. Dr. Bambang Sudarmanto, ST, MT (Penguji I)
NIP. 19730116197821804
 3. Ary Bachtiar K. P., ST, MT, Ph.D. (Penguji III)
NIP. 19710524199702001
 4. Bambang Arip D., ST, M. Eng, PhD (Penguji II)
NIP. 197804012002121001
- 

SURABAYA

JULI, 2017

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, Maha Pencipta, Maha Pemberi Ilmu, Maha Pemberi Rizqi, dan Maha Akan Segalanya, atas limpahan rahmat, hidayah, rizki, dan ijin-Nya sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr.Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc atas bimbingannya dengan sabar dan perhatian.
2. Kepada kedua orang tua, mbak, dan Lia yang selalu memberi dukungan moral dan mental

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, 2017

Penulis

**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK DAN
PERFORMA TEC (*THERMOELECTRIC COOLER*)
1-12706**

Nama : Febri Ida Bagus Ibrahim
NRP : 2113106002
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc

Abstrak

Penggunaan TEC sebagai pengganti sistem pendingin yang konvensional semakin hari semakin besar dalam penggunaannya. TEC digunakan sebagai alternatif dalam sistem pendinginan karena sifatnya yang compact, kecil dan tidak menimbulkan efek samping yang buruk. Pada tahun 2011, World Bank mencatat bahwa emisi karbondioksida mencapai 34.649.483 kiloton dan meningkat menjadi 35.669.000 kiloton dalam kurun waktu tiga tahun. Emisi karbondioksida merupakan penyumbang terbesar dalam pemanasan global dan ketidakteraturan perubahan iklim yang terjadi selama ini terjadi. Salah satu penyumbang terbesar dalam ketidakteraturan tersebut adalah penggunaan freon atau carbon cloroflorida sebagai cairan pendingin

TEC yang digunakan adalah TEC dengan tipe 1-12706. TEC ini digunakan sebagai bahan penelitian karena banyaknya penggunaan untuk TEC tipe ini. Lebih jauh lagi, TEC akan digunakan untuk penelitian tentang fungsi pendinginannya pada sistem HHO. Penelitian dilakukan dengan cara mengaplikasikan beberapa variasi voltase yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dan performa TEC. Pengujian dilakukan pada

voltase 2 volt, 4 volt, 6 volt, 8 volt, 10 volt, dan 12 volt. Variasi juga dilakukan dengan menambahkan heat sink pada permukaan TEC yang menghasilkan panas. Heat sink yang digunakan memiliki ukuran 50 mm x 50 mm dengan straight fin. Power supply yang digunakan diatur voltasenya menggunakan switching regulator.

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa variasi yang dapat digunakan untuk operasional TEC yang aman adalah 2, 4, dan 6 volt. Penggunaan pada voltase 2 volt memiliki temperatur dibawah temperatur ambien pada sisi dingin TEC. Penggunaan heat sink dapat meningkatkan heat transfer rate dari 51,8 watt hingga 4320,93 watt. Voltase 2 volt juga memiliki nilai figure of merit paling tinggi yakni 0,58. Untuk arus yang mengalir, semakin meningkat seiring dengan meningkatnya voltase dan penggunaan heat sink.

Kata kunci: TEC, Figure of Merit, Temperatur panas dan temperatur dingin

**EXPERIMENTAL STUDY OF
CHARACTERISTIC AND PERFORMANCE OF
TEC (*THERMOELECTRIC COOLER*) 1-12706**

Name : Febri Ida Bagus Ibrahim
NRP : 2113106002
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Dr.Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc

Abstract

The use of TEC as a substitute for conventional cooling systems is getting more and more in use. TEC is used as an alternative to cooling systems because of its compact, small and no adverse side effects. In 2011, the World Bank noted that carbon dioxide emissions reached 34,649,483 kilotons and increased to 35.669 million kilotons in a period of three years. Carbon dioxide emissions are the largest contributors to global warming and climate change irregularities that have occurred so far. One of the biggest contributors to the disorder is the use of freon or carbon clorofloride as a coolant.

TEC used is TEC with type 1-12706. This TEC is used as a research material because of the large number of uses for this type of TEC. Furthermore, the TEC will be used for research on its derivative functions in the HHO system. The research was conducted by applying several

variations of voltage used to know the characteristics and performance of TEC. The test is performed on 2 volt, 4 volt, 6 volt, 8 volt, 10 volt, and 12 volt voltage. Variations are also made by adding heat sinks on TEC surfaces that generate heat. The heat sink used has a size of 50 mm x 50 mm with a straight fin. Power supply used regulated by using switching voltage regulator.

From the test results obtained variations that can be used for safe TEC operations are 2, 4, and 6 volts. Usage of 2 volt has the temperature under the ambient temperature. Using of heat sink increasing heat transfer rate from 51,8 watt to 4320,93 watt. Voltage 2 volts also has the highest merit number of 0.58. For flowing currents, it increases with voltage and heat sink usage.

Keyword: TEC, Figure of Merit, hot and cool temperature

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

ABSTRAKi

DAFTAR ISIvi

DAFTAR GAMBARxi

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR SIMBOLxiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang1

1.2 Rumusan Masalah2

1.3 Batasan Masalah2

1.4 Tujuan Penelitian3

1.5 Manfaat Penelitian3

1.6 Sistematika Penulisan3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seeback effect dan Peltier Effect5

2.2 TEC (Thermoelectric Cooler)8

2.3 Parameter Performa12

2.3.1 Figure of Merit (Z)12

2.3.1 Seeback Voltage12

2.3.2	Konduktansi <i>Thermal</i>	13
2.4	<i>Heat Sink</i>	13
2.5	Penelitian Terdahulu	15

BAB III METODOLOGI

3.1	Diagram Alir Penelitian	19
3.2	Peralatan yang Digunakan	21
3.2.1	TEC	21
3.2.2	Thermometer	23
3.2.3	Laptop Adapter	24
3.2.4	Switching Regulator Adjustable	25
3.2.5	Amperemeter	26
3.2.6	<i>Heat Sink</i>	27
3.3	Skema Peralatan	28
3.4	Prosedur Pengujian Performa TEC	29
3.4.1	Persiapan peralatan	29
3.4.2	Tahap peralatan	29

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1	Perhitungan	31
4.1.1	Heat transfer rate (q)	31
4.1.1.1	Tanpa <i>heat sink</i>	31
4.1.1.2	Dengan <i>heat sink</i>	34

4.1.2 Performa TEC	36
4.1.2.1 <i>Figure of merit (Z)</i>	36
4.1.2.2 Konduktansi thermal	37
4.1.2.3 Seeback voltage.....	38
4.2 Hasil Pengamatan	39
4.2.1 Voltase 2 volt	39
4.2.2 Variasi 4 volt.....	42
4.2.3 Variasi 6 volt.....	44
4.2.4 Variasi 8 volt.....	47
4.2.5 Variasi 10 volt.....	49
4.2.6 Variasi 12 volt.....	49
4.3 Analisa Data Untuk Karakteristik TEC	51
4.3.1 Grafik temperatur sisi dingin vs waktu tanpa heat sink	51
4.3.2 Grafik temperatur sisi panas vs waktu tanpa heat sink	53
4.3.3 Grafik temperatur sisi dingin vs waktu dengan heat sink	54

4.3.4 Grafik temperatur Sisi panas vs waktu dengan heat sink	56
4.3.5 Grafik arus vs tegangan.....	57
4.4 Analisa Data untuk Performa TEC.....	60
4.4.1 Figure of merit (Z)	60
4.4.2 Konduktansi thermal	62
4.4.3 Seeback voltage	64
4.5 Ringkasan	65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

Halaman Kosong

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip Kerja Peltier Effect.....	7
Gambar 2.2	Prinsip Kerja TEC	8
Gambar 2.3	Kesetimbangan Energi TEC	9
Gambar 2.4	Ilustrasi Bagian Dalam TEC	11
Gambar 2.5	TEC	11
Gambar 2.6	Heat Sink	14
Gambar 2.7	Susunan Sirip Pada Heat Sink	15
Gambar 2.8	Penelitian Akram M.N.....	16
Gambar 2.9	Penelitian Jethendra Kumar	17
Gambar 3.1	Flowchart sistematika penelitian	21
Gambar 3.2	Thermoelectric Cooler.....	22
Gambar 3.3	Geometri TEC	23
Gambar 3.4	Thermometer	24
Gambar 3.5	Adaptor Laptop	25
Gambar 3.6	Switching Regulator	26
Gambar 3.7	Amperemeter	27
Gambar 3.8	Heat sink	27
Gambar 3.9	Geometri Heat Sink	28
Gambar 3.10	Skema Peralatan	28
Gambar 4.1	Grafik Temperatur Sisi Dingin Terhadap Waktu Tanpa Heat Sink.....	51

Gambar 4.2	Grafik Fungsi temperatur sisi panas terhadap waktu tanpa heat sink	53
Gambar 4.3	Grafik Temperatur Sisi Dingin Terhadap Waktu Dengan Heat Sink.	54
Gambar 4.4	Grafik Fungsi Temperatur Sisi Panas Terhadap Waktu Dengan Heat Sink.....	56
Gambar 4.5	Grafik Arus Vs Tegangan	58
Gambar 4.6	Grafik Power Vs Tegangan	59
Gambar 4.7	Grafik Figure of Merrit (Z)	60
Gambar 4.8	Grafik Konduktifitas Thermal	62
Gambar 4.9	Grafik Seebck Voltage	64
Gambar 4.10	Grafik Temperatur Pada Setiap Voltase.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Lembar Pengujian Performa TEC	30
Tabel 4.1 Properties udara pada 28°C	31
Tabel 4.2 Geometri <i>Heat Sink</i>	35
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Pada 2 Volt Tanpa Heat Sink	39
Tabel 4.4 Hasil Pengamatan Pada 2 Volt Dengan Heat Sink.....	40
Tabel 4.5 Hasil Pengamatan Pada 4 Volt Tanpa Heat Sink	42
Tabel 4.6 Hasil Pengamatan Pada 4 Volt Dengan Heat Sink.....	43
Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Pada 6 Volt Tanpa Heat Sink	44
Tabel 4.8 Hasil Pengamatan Pada 6 Volt Dengan Heat Sink.....	46
Tabel 4.9 Hasil Pengamatan Pada 8 Volt Tanpa Heat Sink	47
Tabel 4.10 Hasil Pengamatan Pada 8 Volt Dengan Heat Sink.....	47
Tabel 4.11 Hasil Pengamatan Pada 10 Volt Tanpa Heat Sink	49
Tabel 4.12 Hasil Pengamatan Pada 10 Volt Dengan Heat Sink..	49
Tabel 4.13 Hasil Pengamatan Pada 12 Volt Tanpa Heat Sink	50
Tabel 4.14 Hasil Pengamatan Pada 12 Volt Dengan Heat Sink...	50
Tabel 4.15 Ringkasan Pengolahan Data TEC Pada Kondisi <i>Steady State</i> Untuk Sisi Dingin dan Panas.....	65
Tabel 4.16 Ringkasan Pengolahan Data TEC Pada Kondisi <i>Steady State</i> Untuk Arus dan <i>Heat Transfer Rate</i>	65

DAFTAR SIMBOL

I	: Arus listrik, <i>Ampere</i>
k	: konduktivitas thermal, $W.cm^{-1}.K^{-1}$
P	: Daya, <i>Watt</i>
P	: Tekanan gas ideal, <i>atm, Pa</i>
Q_c	: Energi panas yang diserap, <i>Watt</i>
Q_h	: Energi panas yang dihasilkan, <i>Watt</i>
t	: Time, <i>sekon</i>
T	: Temperatur, <i>K</i>
T_c	: Temperatur sisi dingin, <i>K</i>
T_h	: Temperatur sisi panas, <i>K</i>
V	: Voltase, <i>Volt</i>
Z	: figure of merit
α	: Koefisien Seeback, $V.K^{-1}$
ρ	: Tahanan elektris, <i>Ohm</i>
ρ	: Massa jenis, kg/m^3
π	: koefisien peltier
τ	: koefisien Thomson



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2011, World Bank mencatat bahwa emisi karbondioksida mencapai 34.649.483 kiloton dan meningkat menjadi 35.669.000 kiloton dalam kurun waktu tiga tahun. Emisi karbondioksida merupakan penyumbang terbesar dalam pemanasan global dan ketidakteraturan perubahan iklim dan perubahan temperatur muka bumi yang selama ini terjadi. Salah satu penyumbang terbesar dalam ketidakteraturan tersebut adalah penggunaan freon atau carbon cloroflorida sebagai cairan pendingin. Disamping penggunaan bahan bakar fosil yang dibakar secara tidak sempurna.

Penggunaan freon sebagai cairan pendingin secara umum dan besar-besaran ternyata menyisakan sebuah masalah baru yakni karena sifatnya yang sangat ringan yang hanya bisa diikat oleh molekul yang lebih ringan yakni ozon yang berada di stratosfer. Disamping kekurangan freon yang digunakan sebagai cairan pendingin, peranti yang digunakan dalam mensikluskan freon sebagai pendingin juga mempunyai ukuran yang relatif besar dan tidak kompak. Untuk menjawab masalah tersebut, penggunaan sistem pendingin yang kompak dan ringan dibutuhkan dalam pemanfaatannya. Dengan penggunaan *TEC*, pemanfaatan komponen pendingin yang ringan dan kompak dapat menjawab permasalahan tersebut.

TEC (ThermoElectrical Cooler) merupakan sebuah komponen elektronik yang dapat menghasilkan kondisi panas pada satu sisi dan kondisi dingin pada sisi sebaliknya. Setiap *TEC* yang dihasilkan setiap pabrik memiliki spesifikasi yang berbeda-beda yang mana spesifikasi tersebut terbatas hanya dalam beberapa hal. Fokus pada penelitian ini adalah untuk



mengetahui performa *TEC* tipe 1-12706 yang nanti akan digunakan sebagai pendingin pada generator HHO

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan penelitian mengenai performa *TEC* tersebut, maka beberapa perumusan masalah yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perubahan voltase terhadap perubahan temperatur sisi panas *TEC*?
2. Bagaimana pengaruh perubahan voltase terhadap perubahan temperatur sisi dingin *TEC* ?
3. Bagaimana pengaruh perubahan voltase terhadap performa *TEC*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang disusun diatas maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh perubahan voltase terhadap perubahan temperatur sisi panas *TEC*
2. Mengetahui pengaruh perubahan voltase terhadap perubahan temperatur sisi dingin *TEC*
3. Mengetahui pengaruh perubahan voltase terhadap performa *TEC*

1.4 Batasan Masalah

Supaya penelitian yang dilakukan tidak melebar dan tetap fokus pada hasil yang ingin dicapai maka ditentukan batasan-batasan masalah yang mendukung hal tersebut. Adapun batasan-batasan permasalahan antara lain :

1. Kondisi suhu dan kelembaban ruangan dianggap tetap.
2. Tidak ada perubahan properties selama pengambilan data



3. Perpindahan panas dari sekitar diabaikan
4. Analisa dilakukan pada *TEC* dengan indikasi
 - Arus yang dibutuhkan
 - Temperatur sisi panas
 - Temperatur sisi dingin
5. Susunan komponen didalam *TEC* diabaikan

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi ilmu pengetahuan yang dapat dimanfaatkan masyarakat seluas-luasnya dan menjadi informasi dalam pengembangan penelitian-penelitian baru yang memanfaatkan *TEC*. Diharapkan hasil penelitian ini menjadi bagian kecil sumbangsih dalam upaya mendukung usaha pengurangan polusi udara yang menjadi faktor utama pemanasan global.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN, Pada bagian ini berisi tentang latar belakang pemilihan judul, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, Pada bagian ini berisi informasi dasar mengenai dasar teori yang menunjang dalam proses penelitian dan penulisan laporan.

BAB III METODE PENELITIAN, Pada bagian ini berisi tentang sistematika penelitian, *design* peralatan, peralatan pengujian dan tata cara pengujian.

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA, Pada bagian ini berisi tentang perhitungan dan analisa hasil penelitian.

BAB V PENUTUP, Berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk perbaikan penelitian berikutnya.



Halaman Kosong



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Seeback Effect dan Peltier Effect*

Penemuan awal dari fenomena efek peltier dimulai pada tahun 1821 yang didahului oleh Thomas Seeback, peneliti jerman, yang menemukan bahwa arus listrik dapat mengalir secara terus menerus pada sirkuit tertutup yang dihasilkan oleh perbedaan temperatur pada dua metal yang terhubung. Tetapi penemuan seeback tersebut tidak didasari dengan basis keilmuan yang kuat dan hanya berdasar pada penemuan kecelakaan semata [5]. Baru pada tahun 1834, Jean Charles Athanase Peltier, seorang pembuat jam dan fisikawan paruh waktu, ketika mencari tahu mengenai *Seeback effect* menemukan bahwa ada kejadian keterbalikan dari apa yang ditemukan seeback. Bahwa energi panas dapat dihasilkan dan dapat diserap ketika arus listrik dilewatkan melalui sirkuit tertutup.

Ketika arus listrik dilewatkan pada sambungan bimetal yang tertutup, maka akan menghasilkan efek dingin pada satu sisi dan efek panas pada sisi yang lain. Penemuan yang dilakukan oleh Thomas Seeback, yang dikenal dengan *seeback effect*, dan yang dilakukan oleh Peltier, yang dikenal dengan *peltier effect*, pada akhirnya diderivasi secara matematis oleh William Thomson atau yang lebih dikenal dengan Lord kelvin yang nantinya juga memprediksi tentang efek termoelektrik ketiga [3].

Setiap termoelektrik efek memiliki sebuah simbol yang diturunkan dari hubungan properties material. Koefisien Seeback, α , didefinisikan sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T} \dots \dots \dots (2.1)$$



Dimana :

V : voltase yang dihasilkan (Volt)

ΔT : perbedaan temperatur (Kelvin)

Untuk koefisien peltier dilambangkan dengan

$$\pi = Q^{\circ} / I \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

Q° : laju panas pada sisi dingin (Watt)

I : laju arus listrik yang melewati konduktor (Ampere)

Dan Thomson koefisien dilambangkan dengan

$$\tau = T d\alpha / dT \dots\dots\dots (2.3)$$

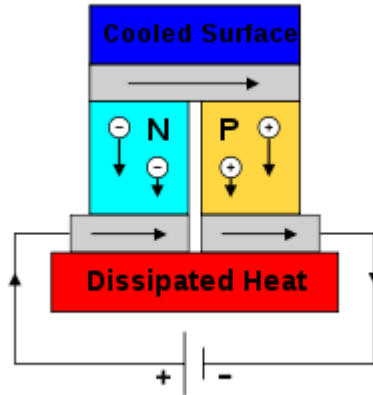
Dimana :

$d\alpha$: diferensial koefisien seeback (V/K)

dT : perbedaan temperatur (Kelvin)

Hubungan dari ketiga persamaan diatas dapat diderivasi sebagai berikut :

$$\pi = T \alpha \dots\dots\dots (2.4)$$



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Peltier Effect

Parameter yang digunakan untuk mengukur kesesuaian material thermoelectric disebut dengan figure of merit, Z , yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho k} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

α : koefisien seeback (V/K)

ρ : tahanan elektris (Ω)

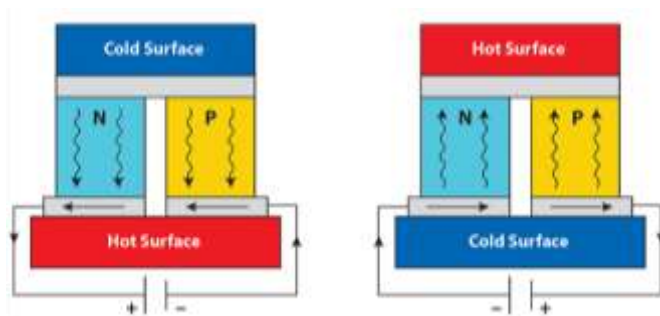
k : konduktivitas thermal (W/(cm.K))

Pada 1911, altenkirch menunjukkan bahwa material thermoelectric yang baik adalah yang memiliki koefisien seeback tinggi, konduktivitas elektris tinggi, dan konduktivitas thermal yang rendah.



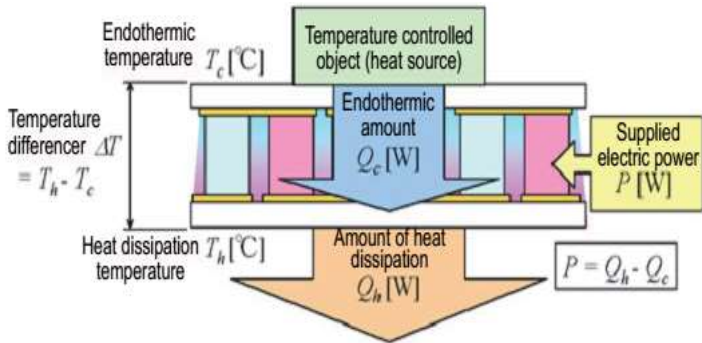
2.2 TEC (Thermo Electric Cooler)

Salah satu pengaplikasian dari peltier effect adalah *TEC*. Sebuah perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi panas. *TEC* tersusun dari banyak thermokopel atau pasangan semikonduktor, yang juga disebut dengan elemen. Setiap thermokopel memiliki 2 kaki yang disebut dengan pellet. Satu kaki tersusun atas kaki jenis-n dan kaki jenis-p. Kaki tipe-n dan tipe-p disambung elektrik secara seri. Elemen semikonduktor yang digunakan terbuat dari bismuth telluride.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja *TEC*

Ketika arus listrik mengalir dan voltase diaplikasikan pada *TEC* maka muatan listrik pada pellet bergerak pada salah satu sisi tergantung pada arah arus yang dialirkan. Pada gambar 2.2 sebelah kiri, muatan listrik bergerak kebawah yang menghasilkan kondisi panas pada sisi bawah. Keadaan ini terjadi karena muatan listrik membawa panas dari sisi atas. Begitu pula sebaliknya saat arah arus dibalik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 sebelah kanan.



Gambar 2.3 Keseimbangan Energi TEC

$$Q_c = AT_cI - 0,5I^2R - K\Delta T \dots\dots\dots (2.6)$$

$$Q_h = AT_hI + 0,5I^2R - K\Delta T \dots\dots\dots (2.7)$$

$$P = Q_h - Q_c \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

A : koefisien seeback (V/K)

R : tahanan listrik (Ω)

K : konduktansi thermal (W/K)

P : daya listrik (Watt)

Q_h : energi panas yang dihasilkan (Watt)

Q_c : energi panas yang diserap (Watt)

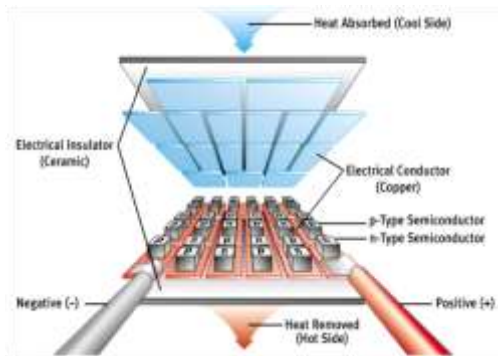
Ketika energi listrik dialirkan pada TEC maka energi yang masuk akan diubah menjadi bentuk energi yang lain. Dimana di satu sisi, keadaan panas dihasilkan yang mana kondisi tersebut



dipengaruhi oleh properties dari material semikonduktor yang digunakan. Dan disisi yang lain, panas dari sekitar diserap sehingga permukaan pada sisi TEC tersebut menjadi lebih rendah temperaturnya dibandingkan udara sekitar.

Pada awal perkembangannya, 1930, nilai figure of merit (Z), yang menjadi nilai kemampuan TEC hanya bernilai 0,2. Tetapi pada 1990-an penelitian tentang *TEC* meningkat karena meningkatnya penggunaan perangkat elektronik [3]. Banyak penelitian tentang TEC yang dilakukan, terutama pada material yang digunakan. Hasil yang terbaik yang diperoleh adalah dengan menggunakan Bismuth Telluride (Bi_2Te_3). Nilai figure of merit yang dihasilkan mencapai pada angka 1,0. Dan pada dekade 2000-an nilai figure of merit (Z) mencapai angka 2,0. Hal ini dipengaruhi oleh susunan pellet, jarak pellet, dan susunan TEC [3].

TEC terdiri atas termokopel yang terhubung elektrik secara seri dan terhubung termal secara paralel. Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi bagian dalam TEC yang terdiri atas termokopel, konduktor, dan pelindung keramik. Ketika arus diaplikasikan pada TEC, termokopel akan bekerja secara simultan. Panas akan diserap pada sisi dingin dan akan dilepas pada sisi panas. Pelindung keramik digunakan untuk menyeragamkan panas yang dihasilkan maupun yang diserap. Gambar 2.4 menunjukkan wujud asli dari TEC



Gambar 2.4 Ilustrasi Bagian Dalam *TEC*



Gambar 2.5 *TEC*



2.3 Parameter Performa

Untuk meraih hasil yang optimal dalam penggunaan TEC, maka harus ada batasan yang ditentukan guna mendapatkan pada voltase berapa TEC tersebut memiliki nilai optimal. Adapun parameter yang akan dibahas diantaranya :

2.3.1 *Figure of merit (Z)*

Untuk menghasilkan keadaan yang optimal, sebuah TEC haruslah memiliki kemampuan untuk memompa panas yang baik. Figure of merit menunjukkan seberapa baik kualitas sebuah TEC dalam memompa panas. Nilai figure of merit tergantung pada temperatur. Semakin tinggi nilai figure of merit semakin baik pula kualitas sebuah TEC.

$$Z = \frac{2 \Delta T_{max}}{(T_h - \Delta T_{max})^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

Z : figure of merit (1/K)

ΔT : perbedaan temperatur ($T_h - T_c$) (Kelvin)

T_h : temperatur sisi panas (Kelvin)

2.3.2 *Seeback voltage (S_M)*

Didefinisikan sebagai perbandingan voltase listrik terhadap temperatur pada sisi panas yang dicapai.

$$S_M = \frac{V}{T_h} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

S_M : seeback voltage (V/K)

V : voltase (V)



T_h : temperatur sisi panas (Kelvin)

2.3.3 Konduktansi Thermal (K_M)

Merupakan perbandingan daya listrik yang dibutuhkan terhadap perkalian antara perbedaan temperatur dan temperatur sisi panas. Rumus konduktifitas thermal dituliskan sebagai berikut :

$$K_M = \frac{(T_H - \Delta T_{max}) V_{max} \cdot I_{max}}{2 T_H \cdot \Delta T} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

K_M : konduktifitas thermal (W/K)

V : voltase (Volt)

I : Arus Listrik (Ampere)

T_h : temperatur sisi panas (Kelvin)

ΔT : perbedaan temperatur ($T_h - T_c$) (Kelvin)

2.4 Heat Sink

Merupakan komponen pemindah panas pasif yang bekerja memindahkan panas dari perangkat elektrik maupun mekanik ke media lain seperti udara dan cairan *coolant*. Dikatakan pasif karena tidak ada komponen atau medium yang bergerak didalam *heat sink*. Pada komputer, *heat sink* digunakan untuk mendinginkan *central processing unit (CPU)* atau pada prosesor pengolah grafis (GPU). Pada peralatan mekanik, *heat sink* digunakan pada *TEC* untuk pendingin ruangan portable atau perangkat pendingin (*cool case*) pada mobil.



Sebagian besar heat sink terbuat dari bahan paduan aluminium. Aluminium yang digunakan adalah seri 1050A yang memiliki nilai konduktifitas thermal 229 W/m.K. Paduan aluminium lain yang digunakan adalah aluminium seri 6060, 6061, dan 6063 yang memiliki nilai konduktifitas termal antara 166 W/m.K hingga 201 W/m.K. Ada juga *heat sink* yang terbuat dari bahan tembaga hanya saja tidak umum digunakan. Aluminium lebih umum digunakan sebagai bahan dari *heat sink* karena selain memiliki nilai konduktifitas yang baik, juga memiliki densitas yang rendah sehingga massanya lebih ringan.



Gambar 2.6 *Heat Sink*

Sebuah *heat sink* didesain dengan memaksimalkan luas permukaan yang kontak dengan sumber atau perangkat dan juga dengan medium yang disalurkan panas dari perangkat tersebut. Bentuk sirip, celah antar sirip, dan juga panjang dari sirip merupakan salah satu desain yang diperhitungkan dalam memperbaiki kinerja dari *heat sink*. Dalam penggunaannya, *heat sink* harus diolesi dengan *thermal grease* pada bagian yang menempel pada sisi perangkat. *Thermal grease* digunakan sebagai katalis atau media untuk mempercepat penyaluran



panas dari perangkat ke *heat sink*. Adanya *thermal grease* juga berfungsi mengisi celah udara yang mungkin terjebak saat menempelkan *heat sink* pada komponen.

Sirip pada *heat sink* adalah bentuk yang memanjang dari dasar sebuah *heat sink* yang memiliki susunan pola tertentu. Beberapa susunan sirip yang digunakan adalah pin, lurus, dan mengembang (*flare*). Susunan pin dapat berbentuk silindris dan persegi yang memiliki jarak tertentu. Susunan lurus memiliki bentuk sirip persegi yang memanjang dan susunan *flare* memiliki bentuk mengembang.



Gambar 2.7 Susunan Sirip Pada *Heat Sink*.

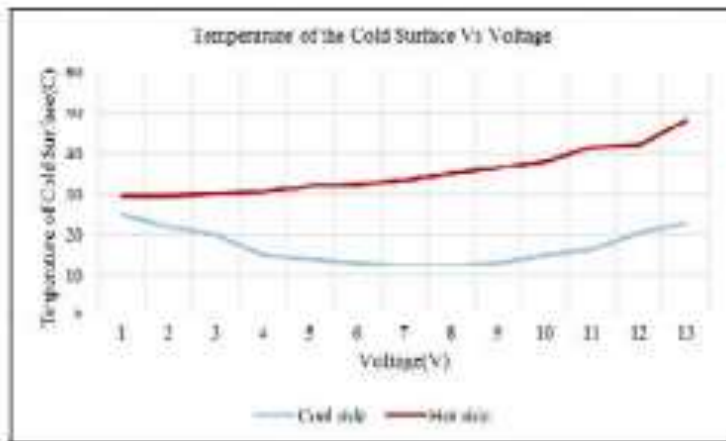
Dari kiri : pin, lurus, dan mengembang

2.5 Penelitian Terdahulu

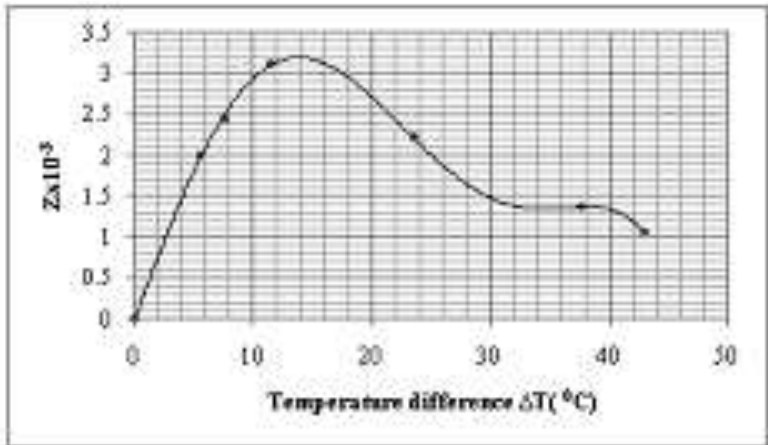
Akram M.N dkk [1] dalam penelitiannya tentang karakteristik thermal dan elektrik tentang TEC seri 1-127 menunjukkan bahwa perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin tidak tergantung pada seberapa besar voltase yang digunakan. Temperatur sisi panas memang meningkat seiring dengan kenaikan voltase yang digunakan. Pada sisi dingin, nilai optimal dicapai pada rentang voltase antara 4,5 – 9,5. Hanya saja pada akhir papernya, dia memberi pernyataan bahwa penggunaan TEC tanpa pendingin pada sisi panas akan meningkatkan temperatur sisi dingin secara drastis. Dengan menggunakan heat sink pada sisi panas akan menurunkan temperatur sisi dingin dibandingkan temperatur sekitar pada 2 menit pertama dan meningkat secara drastis setelah 2 menit



tersebut. Jeethendra kumar [5] dalam penelitiannya untuk mengetahui karakteristik TEC dari *manufacturer's sheet* menunjukkan bahwa nilai figure of merit (Z) tidak meningkat seiring peningkatan temperatur. Nilai Z mencapai nilai optimal pada rentang temperatur antara 13-15 derajat celcius.



Gambar 2.8 Penelitian Akram M.N [1]



Gambar 2.9 Penelitian Jethendra Kumar [5]



Halaman Kosong



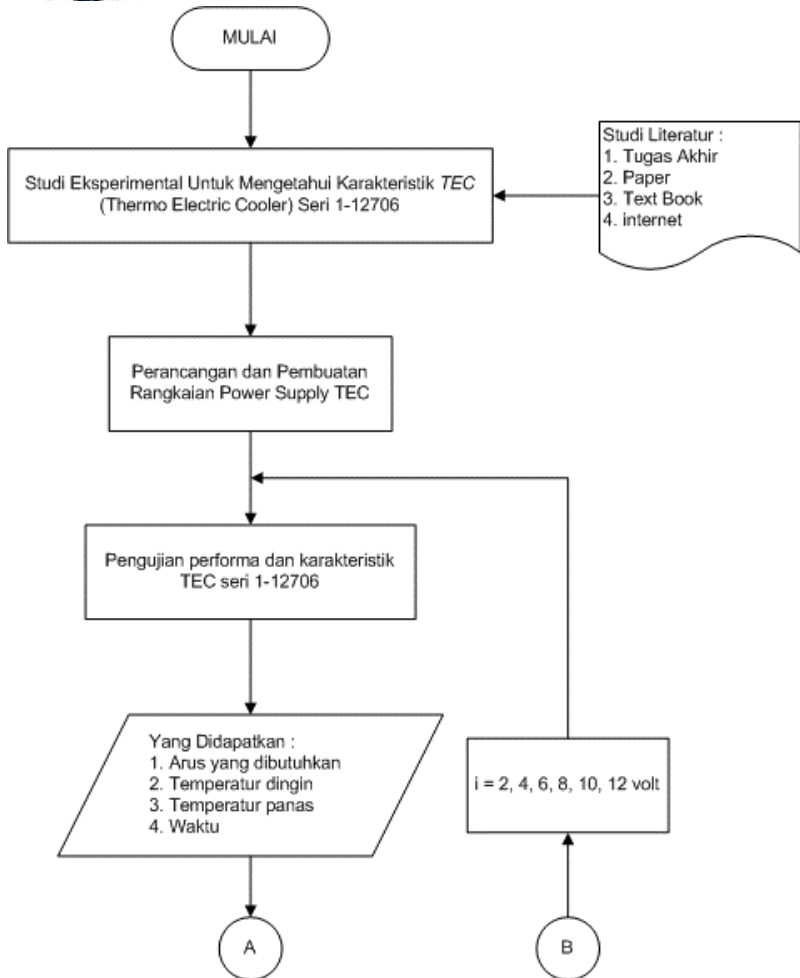
BAB III

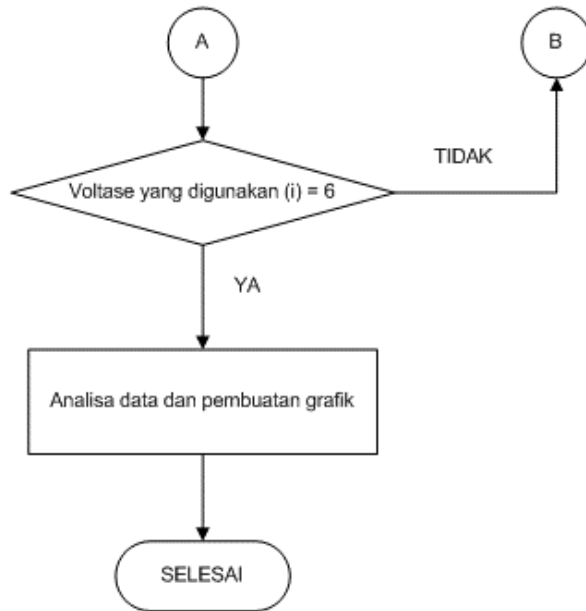
METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode experimental, yakni untuk mengetahui karakteristik dan respon dari TEC pada beberapa voltase. Pemilihan voltase yang diaplikasikan pada TEC menggunakan 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 volt. Pengukuran dilakukan pada sisi dingin, sisi panas dan juga arus yang mengalir pada TEC. Pengukuran diambil pada TEC dengan kondisi normal, tanpa pendingin, dan menggunakan *Heat sink*.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada Diagram Alir (Flowchart) dibawah ini akan menjelaskan tentang langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini :





Gambar 3.1 Flowchart sistematika penelitian

3.2 Peralatan yang Digunakan

Pada subbab ini menjelaskan tentang alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian mengenai karakteristik TEC.

3.2.1 TEC

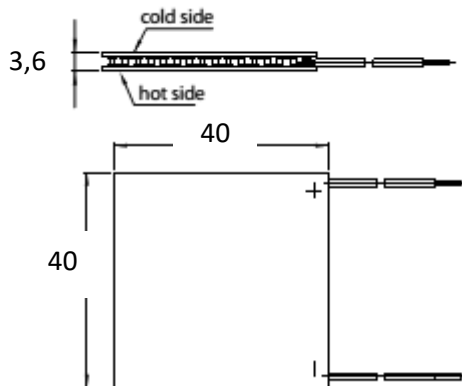
Thermoelectric Cooler merupakan komponen elektrik yang menggunakan prinsip *peltier effect*. Komponen ini menjadi pokok bahasan didalam penelitian penulis. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi perubahan temperatur pada kedua sisinya. Apabila kabel hitam dialiri arus negatif dan kabel merah dialiri arus positif. Maka permukaan TEC yang terdapat tulisan pada sisinya akan menghasilkan temperatur lebih rendah atau menjadi dingin dan permukaan TEC yang tidak terdapat tulisan



menjadi panas. Sedangkan apabila kabel hitam dialiri arus positif dan kabel merah dialiri arus negatif maka permukaan TEC yang bertulisan menjadi sisi panas dan permukaan satunya menjadi sisi dingin. TEC yang digunakan adalah tipe 12706 yang berarti mempunyai 127 pasangan semikonduktor dan arus yang diperbolehkan maksimal 6 ampere. Dimensi TEC berukuran 40mm x 40mm dan lebih jelasnya pada gambar 3.3



Gambar 3.2 Thermoelectric Cooler



Gambar 3.3 Geometri TEC



3.2.2 Thermometer

Thermometer digunakan untuk mengetahui perubahan suhu pada permukaan *TEC (Thermo Electric Cooler)*. Thermometer yang digunakan adalah thermometer digital dengan menggunakan probe sebagai sensor suhu. Adapun merk thermometer yang digunakan, yakni : A11004 dan dekho tipe K 300 thermometer. Thermometer A11004 digunakan untuk sisi dingin dan dekho digunakan untuk sisi panas

Spesifikasi A11004 :

1. Rentang suhu : $-50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$
2. Keakuratan : 1°C
3. Resolusi : $0,1^{\circ}\text{C}$
4. Dimensi : $4,8\text{cm} \times 2,8\text{cm} \times 1,5\text{cm}$
5. Sensor : thermistor metal dengan panjang kabel $0,8\text{m}$
6. Power : 2 x LR44 baterai

Spesifikasi dekho tipe K 300 :

1. Rentang suhu : $-50^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$, $-50^{\circ}\text{F} \sim 1999^{\circ}\text{F}$
2. Resolusi : 0,1 atau 1
3. Keakuratan : 0,1
4. Power : 1 x 9V PP3 baterai
5. Dimensi : $162\text{mm} \times 76\text{mm} \times 39\text{mm}$
6. Sensor : termokopel dengan panjang kabel $0,5\text{m}$



Gambar 3.4 Thermometer

3.2.3 Laptop Adapter

Digunakan sebagai sumber tegangan utama pada TEC. Adapter yang digunakan adalah charger laptop merk HP yang memiliki spesifikasi :

1. Tegangan input 110 – 220 V
2. Arus input yang dibutuhkan 1,5A
3. Frekuensi 50-60 Hz
4. Tegangan output 19V
5. Arus maksimal output 2,4 A
6. Daya maksimal yang dikeluarkan 46 W



Gambar 3.5 Adaptor Laptop

3.2.4 Switching Regulator Adjustable

Sebuah perangkat elektronik yang berfungsi mengubah tegangan masukan (input) menjadi tegangan keluaran (output) lebih rendah. Memiliki 3 led indikator untuk mengetahui tegangan masuk, tegangan keluar, dan on-off. Dilengkapi dengan *seven segment* indikator untuk mempermudah mengetahui berapa besaran tegangan yang masuk maupun keluar.

Spesifikasi alat :

1. Input : 4 -38 volt
2. Output : 1,25 – 36 volt
3. Arus output : 0 – 5A
4. Daya : 75 watt
5. Effisiensi : 96 %
6. Dimensi : 6,6cm x 3,9cm x 1,8cm
7. Dengan IC stepdown XL4015
8. Konsumsi tegangan 1V



Gambar 3.6 Switching Regulator

3.2.5 Amperemeter

Alat ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar arus listrik yang alirkan dari power supply menuju ke TEC. Menggunakan digital multimeter merk Hyelec MS 8233C. Multimeter yang digunakan bukan hanya untuk mengukur arus tetapi juga dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan, tahanan dan suhu.

Spesifikasi alat :

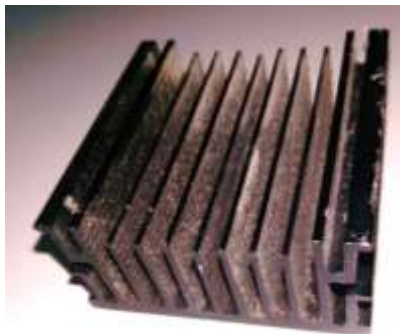
1. Rentang tegangan DC : 0,2mV, 2V, 20V, 200V, 600V
2. Rentang tegangan AC : 0,2mV, 2V, 20V, 200V, 600V
3. Rentang arus DC : 0,2mA, 2mA, 20mA, 0,2A, 12A
4. Rentang tahanan : 200 Ω , 2k Ω , 20k Ω , 200k Ω , 2M Ω
5. Rentang suhu : -20C ~ 1000C
6. Keakuratan : 1



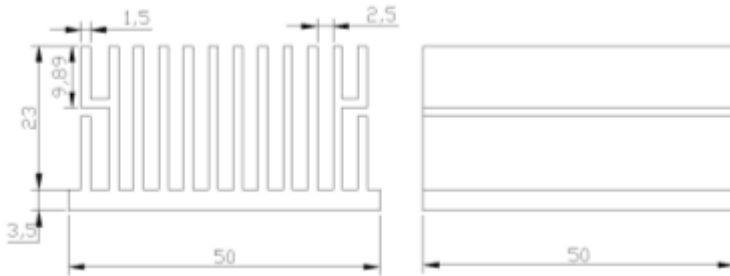
Gambar 3.7 Amperemeter

3.2.6 Heat sink

Merupakan penghantar panas pasif karena tidak ada media yang bergerak didalam komponen tersebut. Komponen ini digunakan sebagai penghantar panas yang dihasilkan pada sisi panas TEC ke udara bebas. Terbuat dari bahan aluminium. *Heat sink* yang digunakan adalah *Heat sink* yang biasa digunakan pada prosesor komputer. *Heat sink* yang digunakan berukuran 50mm x 50mm

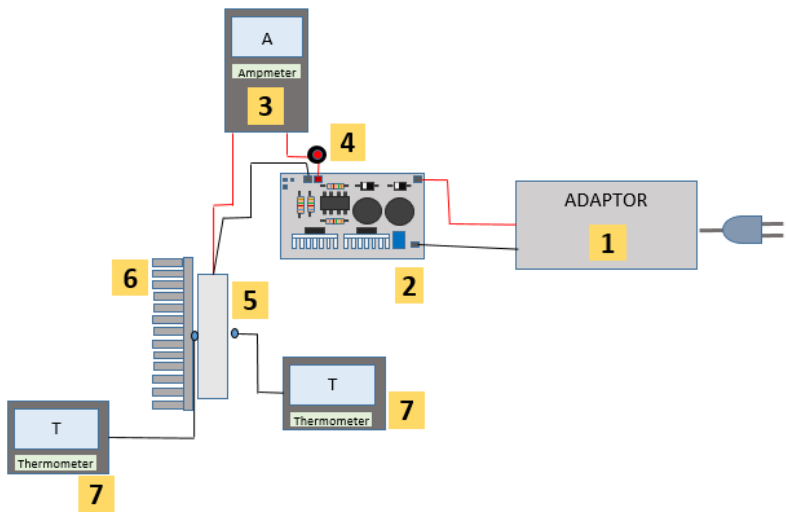


Gambar 3.8 *Heat sink*



Gambar 3.9 Geometri Heat Sink

3.3 Skema Peralatan



Gambar 3.10 Skema Peralatan



Keterangan Gambar :

1. Adaptor
2. Switching Regulator
3. Ampere meter
4. Tombol On-Off
5. TEC
6. Heat sink
7. Thermometer

3.4 Prosedur Pengujian Performa TEC

Langkah –langkah pelaksanaan pengujian laju produksi (*flowrate*) gas HHO ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Persiapan peralatan

Pada tahap ini, disiapkan dan dirakit berbagai peralatan untuk penelitian guna mengetahui performa TEC

1. Menyiapkan peralatan sesuai dengan gambar yang diatas.
2. Menguji apakah ada arus dan tegangan yang mengalir dari adaptor dengan melihat indikator pada switching regulator
3. Pastikan arus mengalir pada TEC dengan melihat adanya perubahan angka pada ampere meter
4. Apabila langkah 1 – 3 sudah terpenuhi maka peralatan siap digunakan

3.4.2 Tahap pengujian

Adapun prosedur pengujian sesuai dengan skema diatas adalah sebagai berikut, yakni :

1. Menyalakan adaptor dengan mencolokkan kabel adaptor ke stop kontak PLN
2. Memutar knob searah jarum jam kecil berwarna emas pada komponen kotak yang berwarna biru pada switching regulator ke angka 2 volt



3. Memastikan sensor panas termokopel tepat d tengah dengan mengikatnya pada TEC
4. Menyalakan switch/ tombol On – Off
5. Mencatat temperatur pada sisi dingin, sisi panas, dan arus yang dibutuhkan setiap 2 menit, temperatur ambien 28°C
6. Ulangi proses pada nomer 1- 4 untuk tegangan 4, 6, 8, 10, dan 12 volt
7. Apabila temperatur telah mencapai 120°C dan atau mencapai waktu 60 menit maka pencatatan dan pengujian dihentikan

Tabel 3.1 Lembar Pengujian Performa TEC

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0				
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				
16				
18				
20				
-				
-				
60				



BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 Perhitungan

4.1.1 Heat transfer rate (q)

Perhitungan *heat transfer rate* digunakan untuk mengetahui berapa besar laju perpindahan panas yang disalurkan ke udara bebas secara langsung, tanpa *heat sink*, dan menggunakan *heat sink*. Perhitungan yang disajikan tidaklah semua melainkan hanya sebagian dari beberapa data voltase. Data yang digunakan berasal dari 2 volt dan 6 volt.

4.1.1.1 Tanpa *heat sink*

Tabel 4.1 Properties Udara Pada 28°C [2]

Parameter	Lambang	Nilai	Satuan
Konduktivitas Thermal	k	$26,3 \times 10^{-3}$	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
Viskositas	μ_a	$185,1 \times 10^{-7}$	N s m^{-2}
Densitas	ρ_a	1,1158	kg m^{-3}
Spesific Heat	$c_{p,a}$	1007	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
Viskositas kinematik	ν	$15,99 \times 10^{-6}$	m^2/s
Difusivitas thermal	α	$22,6 \times 10^{-6}$	m^2/s
Prandt number	Pr	0,707	
Koefisien Volumetric thermal	β	0,0033	K^{-1}

**A. 2 Volt**

Rumus heat transfer rate :

$$q = h.A_s.(T_s - T_\infty)$$

nilai h diestimasi dari *Rayleigh number* dari persamaan 9.25 [2] dan nilai karakteristik panjang L didapat dari persamaan 9.29 [2]

$$L = \frac{A_s}{P} \approx \frac{w}{2}$$

Dimana w adalah lebar *TEC*

$$L = \frac{40 \text{ mm}}{2} \\ = 20 \text{ mm}$$

Nilai *Rayleigh number* adalah

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Dimana :

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

β : *volume thermal expansion coefficient* ($1/\text{K}$)

T_s : temperatur permukaan (K)

T_∞ : temperatur ambient (K)

L : panjang karakteristik (m)

ν : Viskositas kinematic (m^2/s)

α : Difusivitas thermal (m^2/s)

$$Ra_L = \frac{9,8 \times 0,0033 \times 11 \times 0,02^3}{(15,99 \times 10^{-6}) \times (22,6 \times 10^{-6})} \\ = 7,87 \times 10^4$$



dari persamaan 9.30 [2]

$$\begin{aligned} \text{Nu}_L &= 0,54 \text{ Ra}_L^{1/4} \\ &= 0,54 \times (7,87 \times 10^4)^{1/4} \\ &= 14,35 \end{aligned}$$

Maka didapat nilai h

$$\begin{aligned} h &= \frac{k}{L} \text{Nu}_L \\ &= \frac{0,0263 \times 14,35}{0,02} \\ &= 18,87 \text{ W.m}^{-1}\text{,K}^{-1} \end{aligned}$$

Jadi, nilai q adalah

$$\begin{aligned} q &= h.A_s.(T_s - T_\infty) \\ &= 18,87 \text{ W.m}^{-2}\text{,K}^{-1} \times 0,0016\text{m}^2 \times 11^\circ\text{K} \\ &= 0,33 \text{ W} \end{aligned}$$

B. 6 Volt

Nilai L sama dengan nilai L pada 2 volt.

Nilai *Rayleigh number* :

$$\begin{aligned} \text{Ra}_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,8 \times 0,0033 \times 68 \times 0,02^3}{(15,99 \times 10^{-6}) \times (22,6 \times 10^{-6})} \\ &= 4,87 \times 10^5 \end{aligned}$$

Maka nilai Nu_L adalah :

$$\begin{aligned} \text{Nu}_L &= 0,54 \text{ Ra}_L^{1/4} \\ &= 0,54 \times (4,87 \times 10^5)^{1/4} \\ &= 22,6 \end{aligned}$$

Maka didapat nilai h

$$\begin{aligned} h &= \frac{k}{L} \text{Nu}_L \\ &= \frac{0,0263 \times 22,6}{0,02} \\ &= 29,78 \text{ W.m}^{-1}\text{,K}^{-1} \end{aligned}$$



Jadi, nilai q adalah

$$\begin{aligned}q &= h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \\ &= 29,78 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \times 0,0016 \text{ m}^2 \times 68^\circ\text{K} \\ &= 3,24 \text{ W}\end{aligned}$$

4.1.1.2 Dengan *heat sink*

Dengan menggunakan asumsi bahwa bentuk heat sink yang digunakan pada percobaan ini hampir menyerupai bentuk heat sink yang digunakan oleh *Jing Hui – Meng [7]* pada percobaannya, maka rumusan yang digunakan untuk menghitung *heat transfer rate* (q) dapat didekati sebagai berikut

:

$$q = \frac{\rho_a W_{\text{sink}} H_f}{1 + \frac{t_f}{D_g}} \frac{D_g^2}{12 \mu_a L_{\text{sink}}} \frac{\Delta p}{c_{p,a}} (T_{\text{max}} - T_\infty)$$

Dimana :

- W_{sink} : lebar alas heat sink (m)
- D_g : Jarak antar heat sink (m)
- L_{sink} : Panjang alas heat sink (m)
- T_{max} : Temperatur pada alas heat sink (K)
- T_∞ : Temperatur ambient (K)
- ρ_a : Densitas udara (kg m^{-3})
- λ_a : Konduktansi thermal udara ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)
- μ_a : Viskositas udara (N s m^{-2})
- $c_{p,a}$: Spesific heat udara ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)
- t_f : Lebar heat sink (m)
- H_f : Tinggi heat sink (m)
- Δp : Penurunan tekanan heat sink (N/m^2)



Tabel 4.2 Geometri Heat Sink

Parameter	Lambang	Nilai	Satuan
Tinggi	H_f	23	mm
Ketebalan	t_f	1,5	mm
Jarak Antar heat sink	D_g	2,5	mm
Lebar Alas heat sink	W_{sink}	50	mm
Tinggi Alas heat sink	b_f	3,5	mm

A. 2 Volt

$$\begin{aligned}q &= \frac{\rho_a W_{sink} H_f}{1 + \frac{t_f}{D_g}} \frac{D_g^2}{12 \mu_a L_{sink}} \frac{\Delta p}{L_{sink}} c_{p,a} (T_{max} - T_{\infty}) \\&= \frac{1,1614 \times 0,05 \times 0,023}{1 + \frac{1,5 \times 10^{-3}}{2,5 \times 10^{-3}}} \times \frac{(2,5 \times 10^{-3})^2}{12 \times 184,6 \times 10^{-7}} \times \frac{1}{0,05} \times 1007 \\&\quad \times (312 - 301) \\&= 8,35 \times 10^{-4} \times 0,28 \times 26 \times 11077 \\&= 51,8 \text{ Watt}\end{aligned}$$

B. 6 Volt

$$\begin{aligned}q &= \frac{\rho_a W_{sink} H_f}{1 + \frac{t_f}{D_g}} \frac{D_g^2}{12 \mu_a L_{sink}} \frac{\Delta p}{L_{sink}} c_{p,a} (T_{max} - T_{\infty}) \\&= \frac{1,1614 \times 0,05 \times 0,023}{1 + \frac{1,5 \times 10^{-3}}{2,5 \times 10^{-3}}} \times \frac{(2,5 \times 10^{-3})^2}{12 \times 184,6 \times 10^{-7}} \times \frac{1}{0,05} \times 1007 \\&\quad \times (369 - 301) \\&= 8,35 \times 10^{-4} \times 0,28 \times 20 \times 68476 \\&= 320,19 \text{ Watt}\end{aligned}$$



4.1.2 Performa TEC

Pada sub bab ini memberikan penjelasan mengenai perhitungan performa TEC yang didapat dari penelitian baik menggunakan heat sink ataupun tidak menggunakan heat sink.

4.1.2.1 *Figure of merit (Z)*

Data yang digunakan adalah data dari 2 volt dan 10 volt karena data yang didapat pada kedua voltase tersebut menghasilkan grafik yang nilainya berbeda jauh antara pemakian heat sink dan tidak menggunakan heat sink.

C. Tanpa heat sink

2 volt

$$\begin{aligned} Z &= \frac{2 \Delta T_{max}}{(T_h - \Delta T_{max})^2} \\ &= \frac{2 \times 281}{(312 - 281)^2} \\ &= \frac{562}{961} \\ &= 0,585 \end{aligned}$$

10 volt

$$\begin{aligned} Z &= \frac{2 \Delta T_{max}}{(T_h - \Delta T_{max})^2} \\ &= \frac{2 \times 318}{(393 - 318)^2} \\ &= \frac{636}{5625} \\ &= 0,113 \end{aligned}$$

D. Dengan heat sink

2 volt

$$\begin{aligned} Z &= \frac{2 \Delta T_{max}}{(T_h - \Delta T_{max})^2} \\ &= \frac{2 \times 283}{(308 - 283)^2} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &= \frac{566}{625} \\ &= 0,905 \end{aligned}$$

10 volt

$$\begin{aligned} Z &= \frac{2 \Delta T_{max}}{(T_h - \Delta T_{max})^2} \\ &= \frac{2 \times 332}{(393 - 332)^2} \\ &= \frac{664}{3721} \\ &= 0,178 \end{aligned}$$

4.1.2.2 Konduktansi thermal

Data yang digunakan diambil dari data 10 volt dan 12 volt karena data pada dua voltase tersebut menghasilkan dua grafik yang perbedaannya signifikan.

A. Tanpa heat sink

10 volt

$$\begin{aligned} K_M &= \frac{(T_H - \Delta T_{max})V_{max} \cdot I_{max}}{2 T_H \cdot \Delta T} \\ &= \frac{(393 - 318) \times 10 \times 1,55}{2 \times 393 \times 318} \\ &= \frac{1162,5}{249948} \\ &= 0,004 \end{aligned}$$

12 volt

$$\begin{aligned} K_M &= \frac{(T_H - \Delta T_{max})V_{max} \cdot I_{max}}{2 T_H \cdot \Delta T} \\ &= \frac{(393 - 315) \times 12 \times 1,6}{2 \times 393 \times 318} \\ &= \frac{1479,2}{247590} \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

**B. Dengan heat sink**

10 volt

$$\begin{aligned}K_M &= \frac{(T_H - \Delta T_{max})V_{max} \cdot I_{max}}{2 T_H \cdot \Delta T} \\&= \frac{(393-332) \times 10 \times 1,85}{2 \times 393 \times 332} \\&= \frac{1128,5}{260952} \\&= 0,004\end{aligned}$$

12 volt

$$\begin{aligned}K_M &= \frac{(T_H - \Delta T_{max})V_{max} \cdot I_{max}}{2 T_H \cdot \Delta T} \\&= \frac{(393-340) \times 12 \times 2,06}{2 \times 393 \times 340} \\&= \frac{1310,16}{267420} \\&= 0,005\end{aligned}$$

4.1.2.3 Seeback voltage

Data yang digunakan diambil dari data 6 volt dan 8 volt karena data pada dua voltase tersebut menghasilkan dua grafik yang perbedaan antara penggunaann heat sink dan yang tidak memiliki nilai yang berbeda signifikan.

A. Tanpa heat sink

6 volt

$$\begin{aligned}S_M &= \frac{V}{T_h} \\&= \frac{6}{368} \\&= 0,016\end{aligned}$$

8 volt

$$\begin{aligned}S_M &= \frac{V}{T_h} \\&= \frac{8}{393} \\&= 0,02\end{aligned}$$

**B. Dengan heat sink**

6 volt

$$S_M = \frac{V}{T_h}$$
$$= \frac{6}{342}$$
$$= 0,017$$

8 volt

$$S_M = \frac{V}{T_h}$$
$$= \frac{8}{367}$$
$$= 0,022$$

4.2 Hasil Pengamatan

Pada subbab ini disajikan mengenai hasil pengamatan yang dilakukan pada TEC dengan variasi beberapa voltase, yakni : 2, 4, 6, 8, 10, 12 volt. Data akan disajikan dalam bentuk tabel.

4.2.1 Voltase 2 volt**Tabel 4.3** Hasil Pengamatan Pada 2 Volt Tanpa Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	0,34	27	32	5
4	0,42	29	35	6
6	0,41	30	37	7
8	0,41	31	38	7
10	0,41	31	38	7
12	0,41	31	39	8
14	0,41	31	39	8
16	0,41	31	39	8



18	0,41	31	39	8
20	0,41	31	39	8
22	0,41	31	39	8
24	0,41	31	39	8
26	0,41	31	39	8
28	0,41	31	39	8
30	0,41	31	39	8
32	0,41	31	39	8
34	0,41	31	39	8
36	0,41	31	39	8
38	0,41	31	39	8
40	0,41	31	39	8
42	0,41	31	39	8
44	0,41	31	39	8
46	0,41	31	39	8
48	0,41	31	39	8
50	0,41	31	39	8
52	0,41	31	39	8
54	0,41	31	39	8
56	0,41	31	39	8
58	0,41	31	39	8
60	0,41	31	39	8

Tabel 4.4 Hasil Pengamatan Pada 2 Volt Dengan Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	$T_h - T_c$
0	0	28	28	0
2	0,37	23	31	8



4	0,39	23	32	9
6	0,39	24	33	9
8	0,38	24	33	9
10	0,39	24	34	10
12	0,39	25	34	9
14	0,39	25	34	9
16	0,39	25	34	9
18	0,39	25	34	9
20	0,39	25	35	10
22	0,39	25	35	10
24	0,39	25	35	10
26	0,39	25	35	10
28	0,39	25	35	10
30	0,39	25	35	10
32	0,39	25	35	10
34	0,39	25	35	10
36	0,39	25	35	10
38	0,39	25	35	10
40	0,39	25	35	10
42	0,39	25	35	10
44	0,39	25	35	10
46	0,39	25	35	10
48	0,39	25	35	10
50	0,39	25	35	10
52	0,39	25	35	10
54	0,39	25	35	10
56	0,39	25	35	10
58	0,39	25	35	10



60	0,39	25	35	10
----	------	----	----	----

4.2.2 Variasi 4 volt

Tabel 4.5 Hasil Pengamatan Pada 4 Volt Tanpa Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	0,81	31	59	28
4	0,78	38	57	19
6	0,77	41	60	19
8	0,77	42	62	20
10	0,76	43	62	19
12	0,76	43	62	19
14	0,76	44	62	18
16	0,76	45	63	18
18	0,76	45	63	18
20	0,76	45	63	18
22	0,76	45	63	18
24	0,76	45	63	18
26	0,76	45	63	18
28	0,76	45	63	18
30	0,76	45	63	18
32	0,76	45	63	18
34	0,76	45	63	18
36	0,76	45	63	18
38	0,76	45	63	18
40	0,76	45	63	18
42	0,76	45	63	18



44	0,76	45	63	18
46	0,76	45	63	18
48	0,76	45	63	18
50	0,76	45	63	18
52	0,76	45	63	18
54	0,76	45	63	18
56	0,76	45	63	18
58	0,76	45	63	18
60	0,76	45	63	18

Tabel 4.6 Hasil Pengamatan Pada 4 Volt Dengan Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	0,75	22	40	18
4	0,76	24	43	19
6	0,77	25	45	20
8	0,77	26	47	21
10	0,77	27	48	21
12	0,76	27	48	21
14	0,76	28	49	21
16	0,76	28	49	21
18	0,76	28	49	21
20	0,76	28	49	21
22	0,76	28	49	21
24	0,76	28	49	21
26	0,76	28	49	21
28	0,76	28	49	21



30	0,76	28	49	21
32	0,76	28	49	21
34	0,76	28	49	21
36	0,76	28	49	21
38	0,76	28	49	21
40	0,76	28	49	21
42	0,76	28	49	21
44	0,76	28	49	21
46	0,76	28	49	21
48	0,76	28	49	21
50	0,76	28	49	21
52	0,76	28	49	21
54	0,76	28	49	21
56	0,76	28	49	21
58	0,76	28	49	21
60	0,76	28	49	21

4.2.3 Variasi 6 volt

Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Pada 6 Volt Tanpa Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	1,11	42	73	31
4	1,05	55	87	32
6	1,02	61	93	32
8	1,01	63	96	33
10	1	64	96	32
12	1	64	96	32



14	1	64	96	32
16	1	64	96	32
18	1	64	96	32
20	1	64	96	32
22	1	64	96	32
24	1	64	96	32
26	1	64	96	32
28	1	64	96	32
30	1	64	96	32
32	1	64	96	32
34	1	64	96	32
36	1	64	96	32
38	1	64	96	32
40	1	64	96	32
42	1	64	96	32
44	1	64	96	32
46	1	64	96	32
48	1	64	96	32
50	1	64	96	32
52	1	64	96	32
54	1	64	96	32
56	1	64	96	32
58	1	64	96	32
60	1	64	96	32

**Tabel 4.8** Hasil Pengamatan Pada 6 Volt Dengan Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	1,2	22	51	29
4	1,15	27	58	31
6	1,13	30	62	32
8	1,12	32	64	32
10	1,11	33	66	33
12	1,1	34	67	33
14	1,1	34	68	34
16	1,1	35	68	33
18	1,1	35	68	33
20	1,1	35	68	33
22	1,1	35	68	33
24	1,1	35	68	33
26	1,1	35	68	33
28	1,1	35	68	33
30	1,1	35	68	33
32	1,1	35	68	33
34	1,1	35	68	33
36	1,1	35	68	33
38	1,1	35	68	33
40	1,1	35	68	33
42	1,1	35	68	33
44	1,1	35	68	33
46	1,1	35	68	33
48	1,1	36	69	33



50	1,1	36	69	33
52	1,1	36	69	33
54	1,09	36	69	33
56	1,09	36	69	33
58	1,09	36	69	33
60	1,09	36	69	33

4.2.4 Variasi 8 volt

Tabel 4.9 Hasil Pengamatan Pada 8 Volt Tanpa Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	1,34	56	97	41
4	1,26	75	116	41
6	1,25	78	120	42

Tabel 4.10 Hasil Pengamatan Pada 8 Volt Dengan Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	1,52	25	66	41
4	1,46	33	77	44
6	1,42	39	84	45
8	1,4	43	88	45
10	1,38	45	90	45
12	1,36	47	92	45
14	1,36	47	92	45



16	1,36	48	93	45
18	1,35	48	93	45
20	1,35	48	93	45
22	1,35	49	94	45
24	1,35	49	94	45
26	1,35	49	94	45
28	1,35	49	94	45
30	1,35	49	94	45
32	1,35	49	94	45
34	1,35	49	94	45
36	1,35	49	94	45
38	1,35	49	94	45
40	1,35	49	94	45
42	1,35	49	94	45
44	1,35	49	94	45
46	1,35	49	94	45
48	1,35	49	94	45
50	1,35	49	94	45
52	1,35	49	94	45
54	1,35	49	94	45
56	1,35	49	94	45
58	1,35	49	94	45
60	1,35	49	94	45



4.2.5 Variasi 10 volt

Tabel 4.11 Hasil Pengamatan Pada 10 Volt Tanpa Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	$T_h - T_c$
0	0	28	28	0
2	1,55	75	120	45

Tabel 4.12 Hasil Pengamatan Pada 10 Volt Dengan Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	$T_h - T_c$
0	0	28	28	0
2	1,85	31	85	54
4	1,75	46	100	54
6	1,69	52	108	56
8	1,67	57	113	56
10	1,66	59	116	57
12	1,65	60	117	57
14	1,65	61	118	57
16	1,64	60	118	58
18	1,64	60	119	59
20	1,64	60	119	59
22	1,63	60	119	59
24	1,63	62	120	58



4.2.6 Variasi 12 volt

Tabel 4.13 Hasil Pengamatan Pada 12 Volt Tanpa Heat Sink

Waktu (menit)	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	1,6	78	120	42

Tabel 4.14 Hasil Pengamatan Pada 12 Volt Dengan Heat Sink

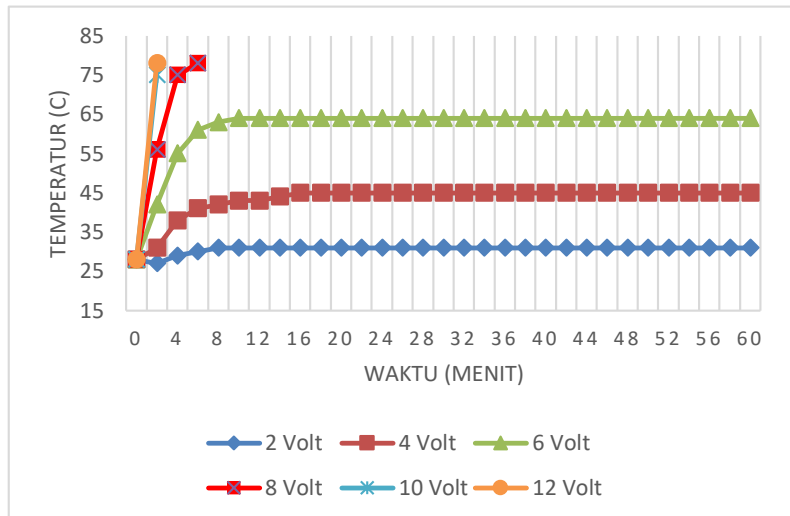
s	Arus	Temp. Cool	Temp. Hot	Th - Tc
0	0	28	28	0
2	2,16	40	105	65
4	2,05	53	120	67



4.3 Analisa Data Untuk Karakteristik TEC

4.3.1 Grafik temperatur sisi dingin vs waktu tanpa heat sink

Dibawah ini dibahas mengenai grafik pengujian TEC dengan variasi penggunaan beberapa voltase yang diukur pada sisi dingin TEC terhadap perubahan waktu.



Gambar 4.1 Grafik Temperatur Sisi Dingin Terhadap Waktu Tanpa Heat Sink

Proses pengubahan muatan listrik menjadi perubahan temperatur merupakan proses paling vital dalam analisa karakteristik TEC. Seberapa besar voltase yang diaplikasikan yang mampu diubah oleh TEC menjadi perubahan temperatur terhadap kedua bagian permukaan menjadi hal paling signifikan dalam penilaian karakteristik TEC. Besarnya perubahan



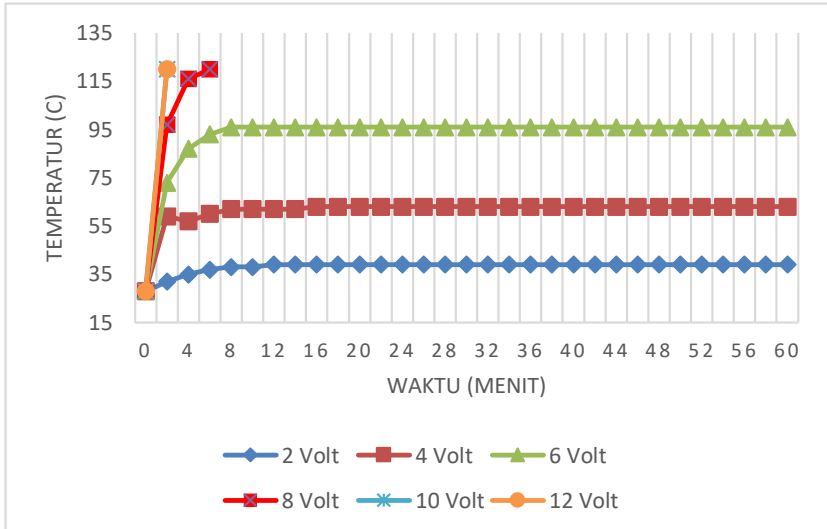
temperatur TEC dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni, konduktifitas seeback, konduktifitas termal, resistansi, konduktifitas elektris, dan jarak antar pellet. Dimana kesemua faktor tersebut dipengaruhi oleh sifat material yang digunakan sebagai pellet didalam TEC.

Pengujian diatas tanpa menggunakan sistem pendinginan pada sisi panas untuk mengetahui karakter asli dari TEC 1-12706. Pada grafik diatas, perubahan temperatur terjadi peningkatan secara signifikan pada voltase 12 volt. Dari suhu 28°C hingga mencapai 120°C hanya membutuhkan waktu 1,01 menit. Pada sisi dingin, temperatur yang dicapai menyentuh angka 78°C. Pada voltase 10 volt, perubahan temperatur dari kondisi normal hingga mencapai batas aman temperatur tercapai dalam waktu 2,3 menit dan pada sisi dingin terukur sebesar 75°C. Grafik pada variasi 8 volt terlihat lebih landai dibandingkan dengan variasi 10 dan 12 volt. Saat 2 menit pertama pengujian temperatur mencapai 56°C, meningkat menjadi 75°C pada 2 menit berikutnya dan mencapai batas toleransi pada waktu 4,33 menit.

Pada variasi 6 volt, grafik tampak naik dari awal dan melandai pada menit kesepuluh. Pada 2 menit awal pengujian, suhu tercapai sebesar 42°C dan meningkat hingga 63°C pada menit ke-10. Memasuki menit kesepuluh, suhu yang dihasilkan sama sekali tidak terjadi perubahan hingga menit keenampuluh yakni sebesar 64°C. Di variasi 4 volt, peningkatan temperatur terjadi tidak terlalu signifikan. Pada 2 menit awal, suhu terukur sebesar 31°C dari keadaan normal 28°C. Temperatur berhenti, tidak terjadi kenaikan, dimulai dari menit keenam belas hingga akhir yakni sebesar 45°C. Pada voltase 2 volt, terjadi penurunan temperatur pada 2 menit pertama yakni sebesar 2°C atau terukur 26°C dan naik secara perlahan setelahnya. Hal tersebut sesuai dengan yang disampaikan akram [1] bahwa penggunaan TEC tanpa pendinginan dapat menaikkan temperatur sisi dingin secara drastis.



4.3.2 Grafik temperatur sisi panas vs waktu tanpa heat sink



Gambar 4.2 Grafik Fungsi temperatur sisi panas terhadap waktu tanpa heat sink

Pada variasi voltase 12 volt, kenaikan suhu dari awal pada temperatur kamar, 28°C, terjadi kenaikan yang sangat cepat ke angka batas maksimal aman, 120°C. Kenaikan tersebut terjadi hanya dalam waktu 1,01 menit. Pada 10 volt, kenaikan suhu dari awal tidak terlalu cepat seperti pada variasi 12 volt. Dari awal hingga angka maksimal dicapai dengan waktu 2,3 menit. Di variasi 8 volt, kenaikan temperatur yang terjadi tidak signifikan pada 10 dan 12 volt. Dibutuhkan waktu 4,33 menit untuk mencapai angka maksimal toleransi yang diperbolehkan.

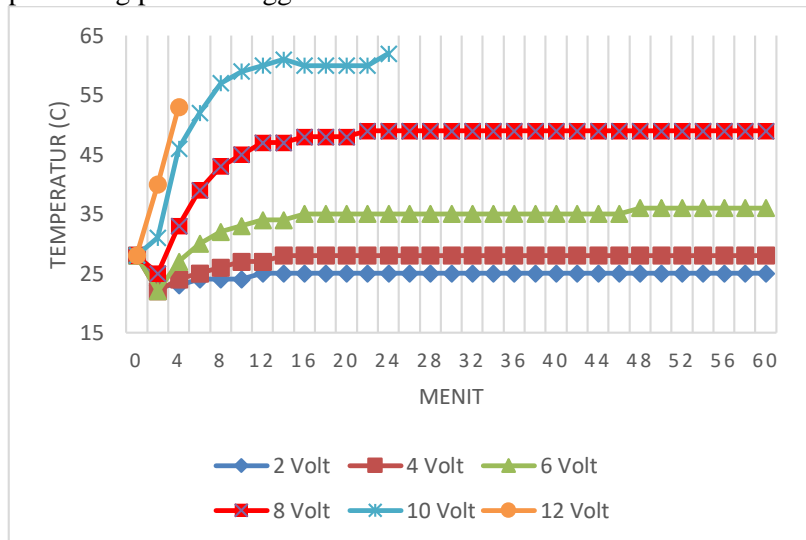
Di variasi 6 volt terjadi perubahan grafik yang sangat berbeda dibandingkan dengan 8, 10, dan 12 volt. Pada variasi 6 volt hanya mencapai nilai maksimal temperatur pada angka 96°C. Nilai maksimal yang dicapai pada variasi ini dicapai



dengan waktu 8 menit dan stabil hingga akhir. Di variasi 4 volt, terjadi kenaikan ke angka 59°C pada 2 menit pertama lalu turun ke 57°C dan naik kembali ke 63°C di menit ke-16 dan stabil hingga akhir. Pada variasi 2 volt, dari suhu awal 28°C naik secara perlahan ke angka 39°C pada menit ke-12 dan stabil hingga akhir.

4.3.3 Grafik temperatur sisi dingin vs waktu dengan heat sink

Dibawah ini dibahas mengenai grafik temperatur terhadap waktu yang dihasilkan oleh TEC dengan penambahan sistem pembuang panas menggunakan heat sink.



Gambar 4.3 Grafik Temperatur Sisi Dingin Terhadap Waktu Dengan Heat Sink

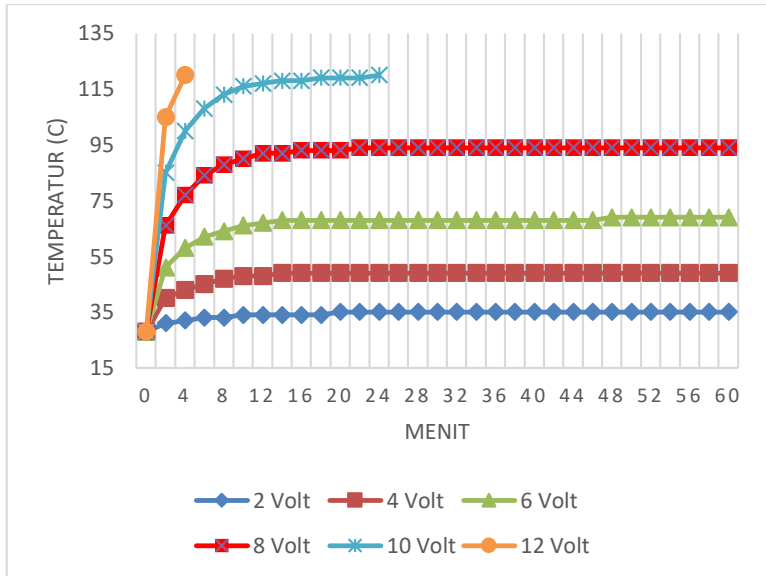


Pada voltase 12 volt, terjadi kenaikan temperatur secara drastis dari 28°C hingga ke angka 120°C selama 3,21 menit dan temperatur sisi dingin terukur 53°C. Dengan penambahan heat sink, dapat menaikkan waktu tunggu dari 1,02 menit menjadi 3,21 menit atau sebesar 217%. Di voltase 10 volt, mengalami kenaikan yang lebih signifikan. Tanpa menggunakan heat sink, waktu untuk mencapai temperatur maksimal dicapai pada waktu 2 menit sedangkan menggunakan heat sink dapat meningkat hingga menit ke 21. Pada voltase 8 volt, mengalami perubahan yang sangat drastis. Pada 2 menit awal, temperatur sisi dingin menjadi dibawah temperatur ruangan yakni sebesar 25°C dan mulai naik secara perlahan hingga steady pada temperatur 49°C pada menit kedua puluh dua.

Di variasi voltase 6 volt, temperatur menurun hingga 22°C pada 2 menit pertama. Lalu meningkat 27°C pada menit keempat dan steady di temperatur 36°C pada menit kedua puluh enam. Penggunaan heat sink dapat menurunkan temperatur steady voltase 6 volt dari 64°C menjadi 36°C atau menurun sebesar 44%. Pada variasi 4 volt, suhu menurun ke angka 22°C pada dua menit pertama. Dan naik secara perlahan hingga steady pada temperatur 28°C di menit keempatbelas. Pada voltase 2 volt, temperatur yang dihasilkan tidak melebihi temperatur ruangan. Temperatur steady voltase 2 volt ada pada angka 25°C yang dicapai pada menit kedua belas. Yang pada 2 menit awal menurun pada angka 23°C. Hasil yang didapat pada grafik diatas sesuai dengan apa yang disampaikan oleh akram [1] bahwa dengan adanya penambahan heat sink dapat menurunkan temperatur sisi dingin pada dua menit pertama tetapi akan meningkat pada dua menit selanjutnya.



4.3.4 Grafik temperatur sisi panas vs waktu dengan heat sink



Gambar 4.4 Grafik Fungsi Temperatur Sisi Panas Terhadap Waktu Dengan Heat Sink

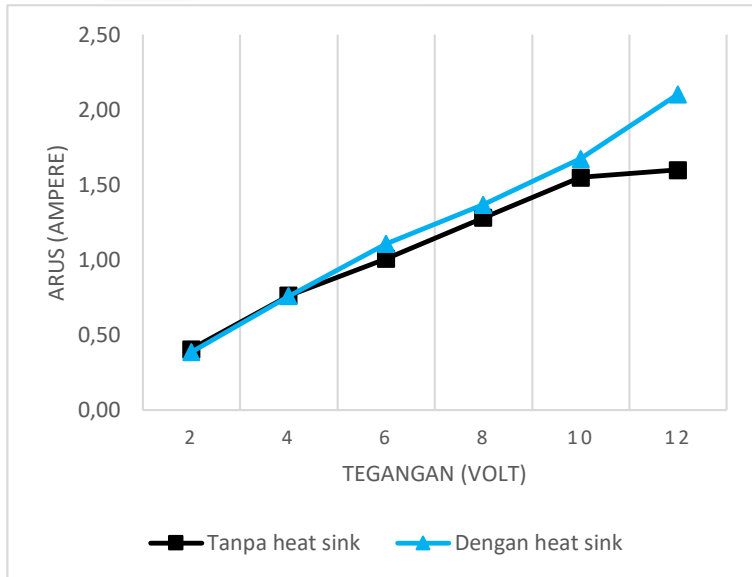
Pada variasi 2 volt, kenaikan temperatur tidaklah naik secara tajam dari temperatur awal 28°C hingga stabil pada angka 35°C dicapai pada waktu 20 menit dan stabil hingga akhir. Adanya penambahan heat sink ternyata dapat menurunkan suhu steady sisi panas TEC sebanyak 4°C. Di variasi 4 volt, kenaikan yang terjadi dari awal hingga ke angka 49°C dicapai pada menit ke-14 dan stabil hingga selesai. Artinya penambahan heat sink dapat menurunkan suhunya sebesar 14°C. Pada 6 volt penurunan temperatur sebesar 28°C dari keadaan tanpa heat sink. Pada 2 menit awal, temperatur meningkat ke angka 51°C dan stabil di temperatur 68°C pada menit ke-14.



Penurunan temperatur sebesar 26°C terjadi pada variasi 8 volt. Pada keadaan tanpa heat sink, variasi 8 volt mencapai nilai toleransi temperatur sebesar 120°C pada menit keenam. Dengan penambahan heat sink, temperatur yang dihasilkan dapat stabil dibawah nilai toleransi yakni pada temperatur 94°C . Pada 10 volt, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai toleransi temperatur meningkat menjadi 24 menit dimana sebelumnya hanya mencapai 2 menit. Pada variasi 12 volt, mencapai nilai toleransi pada menit keempat dimana keadaan tanpa menggunakan heat sink hanya diraih pada menit kedua. Secara garis besar, keadaan dengan penambahan heat sink dapat menurunkan temperatur pada sisi panas dan juga menabab waktu untuk mencapai nilai toleransi temperatur

4.3.5 Grafik arus vs tegangan

Dibawah ini membahas mengenai grafik arus listrik dan tegangan yang diaplikasikan terhadap TEC yang membandingkan antara penggunaan heat sink dan tidak. Arus yang digunakan adalah arus rata-rata yang terjadi selama pengujian.



Gambar 4.5 Grafik Arus Vs Tegangan

Adanya perbedaan potensial listrik menyebabkan adanya aliran pada suatu penghantar. Arus mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah yang biasa disebut dengan perbedaan tegangan listrik. Semakin besar beda potensial, maka arus listrik yang mengalir melalui suatu penghantar juga semakin besar. Besarnya arus listrik yang mengalir juga dipengaruhi oleh besarnya beban. Semakin besar beban maka semakin besar pula arus listrik yang mengalir. Yang mengakibatkan naiknya power yang dibutuhkan. Secara rumusan dapat dilihat bahwa :

$$P = V \cdot I$$

Dimana :

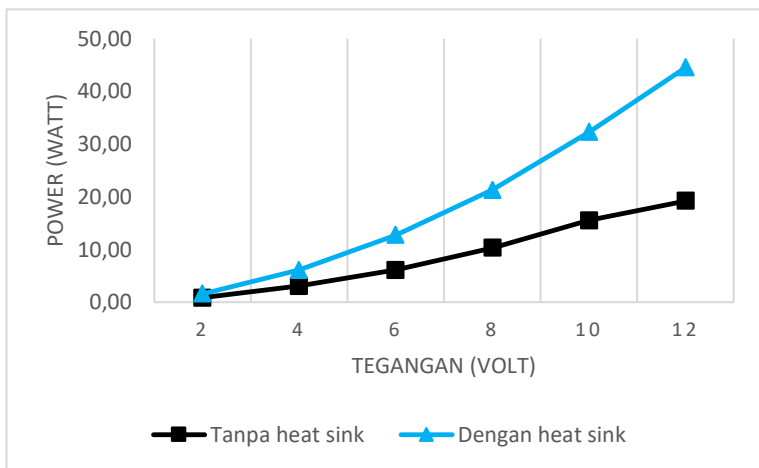
V = Voltase (Volt)

I = Arus (Ampere)

P = Daya (Watt)



Arus listrik yang mengalir pada TEC terlihat meningkat dengan meningkatnya voltase yang digunakan. Pada keadaan sisi panas tanpa heat sink, di voltase 2 dan 4, arus yang mengalir berada dikisaran angka 0,41 dan 0,76 ampere atau berada dibawah 1 ampere. Pada voltase 6, 8, 10, dan 12 meningkat pada angka diatas 1 ampere yakni, 1,01; 1,28; 1,55; dan 1,6 ampere. Pada kondisi dengan heat sink, arus yang digunakan juga menunjukkan trendline yang sama, meningkat. Secara berturut-turut pada voltase 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 adalah 0,39; 0,76; 1,1; 1,35; 1,64; dan 2,05. Akram [1] juga menunjukkan bahwa meningkatnya voltase juga menaikkan arus listrik yang mengalir. Dengan adanya penambahan heat sink untuk membuang panas pada sisi panas TEC, arus yang mengalir juga meningkat dengan seiring meningkatnya voltase. Power yang dibutuhkan oleh TEC juga meningkat dengan meningkatnya arus dan voltase dengan penambahan heat sink pada sisi panas.



Gambar 4.6 Grafik Power Vs Tegangan

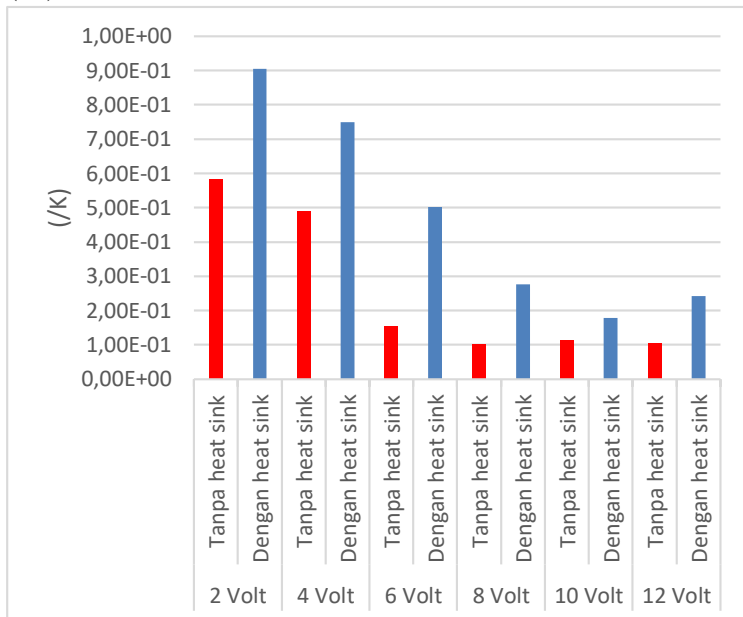


4.4 Analisa Data untuk Performa TEC

Pada sub ini akan dibahas mengenai performa TEC yang meliputi seeback voltage, figure of merit dan konduktansi thermal. Data yang digunakan juga menggunakan data temperatur sisi dingin TEC yang dihitung berdasarkan rumusan seperti pada bab 2. Temperatur sisi dingin TEC digunakan patokan karena sisi tersebut yang akan digunakan dalam penelitian selanjutnya.

4.4.1 Figure of merit (Z)

Pada TEC, tingkatan kualitasnya dinamakan dengan *figure of merit* yang dilambangkan dengan huruf (Z) dengan satuan (K).



Gambar 4.7 Grafik Figure of Merrit (Z)



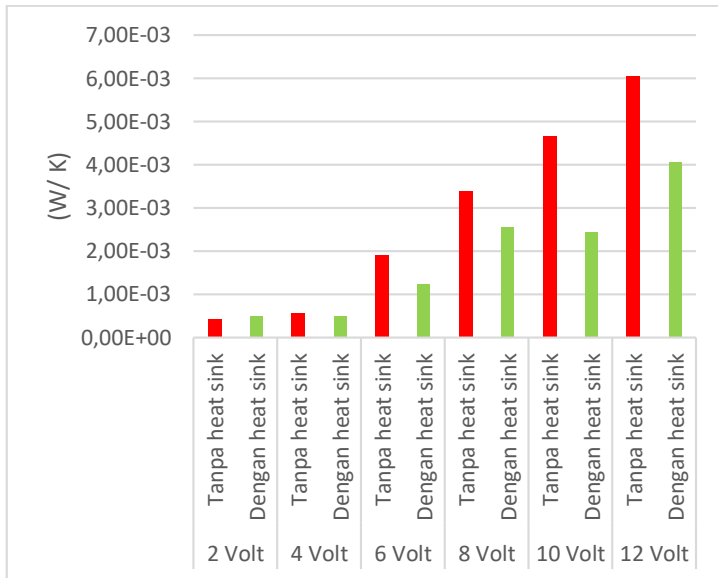
Grafik diatas menunjukkan perbedaan nilai figure of merit antara TEC tanpa penambahan heat sink dan TEC dengan penambahan heat sink. Secara rumusan, nilai figure of merit adalah tergantung terhadap temperatur, *temperature dependent*, yang artinya nilainya tergantung dari temperatur pada kedua sisi TEC. Dari grafik dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai voltase yang digunakan, semakin rendah nilai figure of merit. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi nilai voltase maka semakin tinggi temperatur yang dicapai

Pada grafik tanpa penggunaan heat sink, voltase 2 volt memiliki nilai figure of merit paling tinggi dengan nilai 0,58. Pada voltase 4 volt, nilai figure of merit sebesar 0,49. Dan voltase 6 volt berada pada angka 0,15. Voltase 8 volt memiliki nilai 0,101. Voltase 10 volt dan 12 volt memiliki nilai figure of merit 0,113 dan 0,104. Voltase 2 volt memiliki nilai figure of merit tertinggi karena temperatur sisi panasnya paling rendah dibandingkan dengan variasi voltase lainnya. Dan selisih antara temperatur sisi dingin dan sisi panas yang tidak terpaut jauh nilainya dengan temperatur sisi panasnya.

Pada grafik dengan penggunaan heat sink, menunjukkan nilai figure of merit yang meningkat pada semua variasi voltase yang digunakan. Besarnya kenaikan bervariasi pada setiap voltase yang digunakan. Pada voltase 2 volt, nilai figure of merit meningkat sebesar 54% dari nilai awal ke angka 0,906. Pada voltase 4 volt, nilainya meningkat 52 % menjadi 0,75. Divoltase 6 volt, nilainya meningkat drastis ke angka 0,5 dari awalnya 0,144. Pada voltase 8 volt naik darai yang awalnya 0,101 ke angka 0,276. Pada voltase 10 volt nilainya naik menjadi 0,178 dari yang awalnya 0,113. Dan pada voltase 12 volt nilainya naik sebesar 1,3 kali lipat dari yang awalnya 0,104 menjadi 0,242. Jeethendra [5] menunjukkan bahwa pada range voltase antara 5-7 volt memiliki nilai figure of merit (Z) memiliki nilai paling tinggi. Hal tersebut bisa terjadi karena pada percobaan jethendra menggunakan heat sink pada kedua sisi TEC yang menghasilkan temperatur pada sisi panas lebih rendah.



4.4.2 Konduktansi thermal



Gambar 4.8 Grafik Konduktifitas Thermal

Konduktansi thermal pada TEC nilainya berubah-ubah terhadap perubahan nilai temperatur yang dihasilkan oleh TEC tersebut, seperti halnya nilai figure of merit. Nilai konduktansi thermal juga dipengaruhi oleh nilai voltase yang digunakan dan nilai arus listrik yang mengalir. Semakin besar nilai voltase dan arus maka nilai konduktansi TEC juga akan semakin tinggi.

Pada grafik konduktansi thermal tanpa penggunaan heat sink diatas dapat diketahui bahwa nilai konduktansi terendah ada pada voltase 2 volt yang memiliki nilai 0,00014. Pada voltase 4 volt, nilai meningkat menjadi 0,0005 dan pada voltase 6 volt nilai meningkat menjadi 0,0017. Pada voltase 8 volt nilainya adalah 0,003 dan di voltase 10 volt memiliki nilai

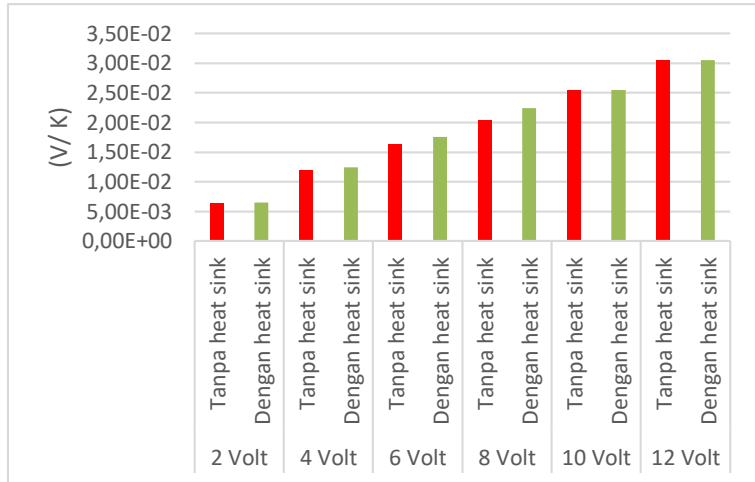


konduktansi thermal sebesar 0,004. Dan yang paling tinggi ada pada voltase 12 volt yakni sebesar 0,006 W/K.

Adanya penambahan heat sink pada TEC ternyata menurunkan nilai konduktansi thermal yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena dengan adanya penambahan heat sink, selisih temperatur antara sisi panas dan sisi dingin menjadi lebih tinggi dibandingkan tanpa penggunaan heat sink. Panas yang dihasilkan TEC dapat disalurkan terhadap heat sink dan juga ke udara bebas. Penurunan nilai konduktansi thermal pada variasi voltase yang digunakan mengalami penurunan yang beragam pula. Pada voltase 2 volt, nilainya menurun sebesar 24 % menjadi 0,00011 W/K. Pada voltase 4 volt nilainya menurun menjadi 0,0005 dari yang awalnya 0,00052. Variasi 6 volt mengalami penurunan konduktansi thermal sebesar 35 % menjadi 0,0011. Pada voltase 8 volt mengalami penurunan menjadi 0,0025 dari yang awalnya 0,0034 sedangkan pada voltase 10 dan 12 mengalami penurunan berturut-turut sebesar 40% menjadi 0,0024 dan sebesar 33% menjadi 0,004.



4.4.3 Seeback voltage



Gambar 4. 9 Grafik Seeback Voltage

Seeback voltage didefinisikan sebagai rasio perbandingan voltase yang digunakan dengan temperatur panas yang dihasilkan. Nilai seebeck tertinggi ada pada voltase 12 volt yakni sebesar 0,032 dan terendah ada pada voltase 2 volt yakni sebesar 0,0065. Pengaruh besar voltase yang digunakan sangat berpengaruh pada besarnya nilai seebeck voltage. Semakin besar nilai voltase maka semakin besar pula nilai seebeck voltagenya.



4.5 Ringkasan

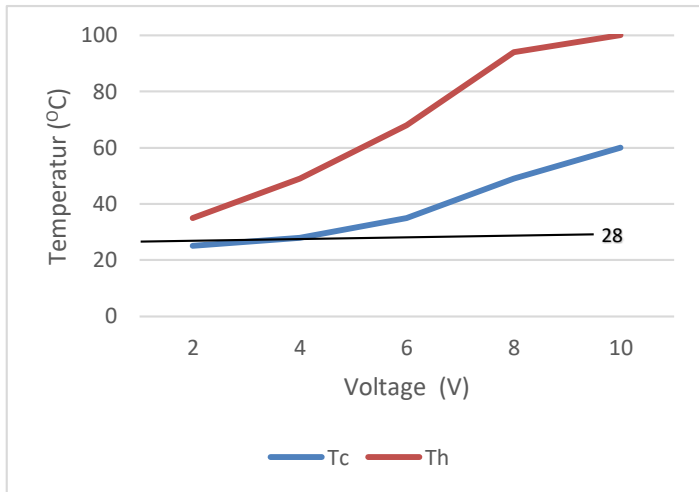
Dibawah ini tersaji tabel dan grafik rangkuman dari hasil pengolahan data diatas

Tabel 4.15 Ringkasan Pengolahan Data TEC Pada Kondisi *Steady State* Untuk Sisi Dingin dan Panas

Voltase	Th (C)		Tc (C)	
	Tanpa heat sink	Dengan heat sink	Tanpa heat sink	Dengan heat sink
2	39	35	31	25
4	63	49	45	28
6	96	69	64	36
8	-	94	-	49
10	-	-	-	-
12	-	-	-	-

Tabel 4.16 Ringkasan Pengolahan Data TEC Pada Kondisi *Steady State* Untuk Arus dan *Heat Transfer Rate*

Voltase	Arus (Ampere)		q (Watt)	
	Tanpa heat sink	Dengan heat sink	Tanpa heat sink	Dengan heat sink
2	0,41	0,49	0,33	51,8
4	0,76	0,76	1,4	128,55
6	1	1,1	3.24	320,19
8	1,25	2,35	-	4320,93
10	1,55	1,63	-	-
12	1,6	2,05	-	-



Gambar 4.10 Grafik Temperatur Pada Setiap Voltase



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasar hasil penelitian yang telah dibahas pada bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Pendinginan yang menghasilkan dibawah temperatur ambien adalah 2 volt sedangkan diatas 2 volt memiliki kecenderungan meningkat diatas temperatur ambien di sisi dingin TEC
2. Penambahan *heat sink* dapat meningkatkan *heat transfer rate* dari 0,33-3,24 pada keadaan tanpa *heat sink* menjadi 51,8-4320,93 pada kondisi dengan dengan *heat sink*
3. Penggunaan *heat sink* dapat menurunkan temperatur sisi dingin pada dua menit pertama tetapi dua menit berikutnya temperatur naik secara berangsur untuk voltase 2, 4, 6, dan 8 volt.
4. Arus listrik meningkat dengan kenaikan voltase. Untuk kondisi tanpa *heat sink*, voltase 2-12 volt dari 0,41 ampere hingga 1,6 ampere sedangkan pada kondisi dengan *heat sink* meningkat dari 0,49 ampere hingga 2,05
5. Kemampuan terbaik TEC, figure of merit, berada pada voltase 2 volt dengan nilai 0,58



5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan penelitian berikutnya diantaranya:

1. Penelitian TEC dengan penggunaan sistem pembuang panas tambahan perlu dilakukan untuk lebih mengetahui karakter dari TEC, terutama TEC seri 1-12706 dan dengan mempertimbangkan kenaikan performa TEC yang naik dengan adanya penambahn fin saja.
2. Power supply yang digunakan memiliki arus yang lebih besar untuk mensupply lebih baik

Riwayat Hidup Penulis



Nama Febrida Bagus Ibrahim dilahirkan di Surabaya 15 Februari 1991. Penulis menempuh jenjang pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Lidah Kulon Surabaya selama 6 tahun sejak tahun 1996 hingga 2002 tanpa melalui pendidikan TK. Pada tahun 2002 hingga 2005 menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 6 Surabaya. Dan dilanjutkan sekolah menengah keatas pada tahun 2005 hingga 2008 di SMA Negeri 13 Surabaya. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah keatas, penulis melanjutkan pendidikannya pada pendidikan Diploma 3 Teknik Mesin Produksi ITS- Disnaker antara tahun 2008 hingga 2011. Pada 2014, penulis menempuh pendidikan lintas jalur S1 pada Teknik Mesin di ITS setelah sebelumnya bekerja pada beberapa perusahaan di jawa timur. Penulis juga aktif pada Event Organizer, HT Event Organizer, yang bergerak di bidang dakwah islam.