

**KARAKTERISTIK MODUL PENDINGIN TERMOELEKTRIK  
PADA KOTAK PENDINGIN OBAT**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Jurusan Teknik Mesin**



Disusun oleh :

**Nama : Emanuel Vivien Susatyo**

**NIM : 995214140**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA  
2005**

**CHARACTERISTIC OF TERMOELECTRIC COOLER MODULE  
IN MEDICIN COOLER BOX**

**FINAL PROJECT**

**Presented as Partial Fulfillment of Requirement  
To Obtain The *Sarjana Teknik Degree*  
In Mechanical Engineering**



**By :**

**Emanuel Vivien Susatyo**

**Student Number : 995214140**

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
ENGINEERING FACULTY  
SANATA DHARMA UNIVERSITY  
YOGYAKARTA**

**2005**

**TUGAS AKHIR**  
**KARAKTERISTIK MODUL PENDINGIN TERMOELEKTRIK**  
**PADA KOTAK PENDINGIN OBAT**

Disusun oleh :  
Emanuel Vivien Susatyo  
NIM : 995214140

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I



Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Tanggal :

TUGAS AKHIR  
KARAKTERISTIK MODUL PENDINGIN TERMOELEKTRIK  
PADA KOTAK PENDINGIN OBAT

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Emanuel Vivien Susatyo  
NIM : 995214140

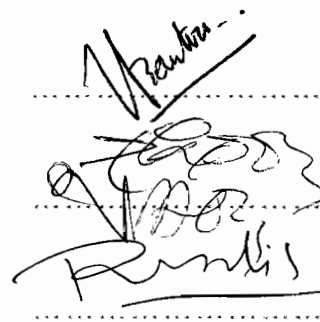
Telah dipertahankan didepan panitia penguji  
Pada tanggal 15 Oktober 2005  
Dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji

Ketua : Ir. FX. Agus Unggul Santosa

Sekretaris : Ir. PK. Purwadi, M.T.

Anggota I : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.



Yogyakarta, Oktober 2005

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan



(Ir. Greg. Heliarke S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc)

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka

Yogyakarta, Oktober 2005  
Penulis

Emanuel Vivien Susatyo



**TUGAS AKHIR PROGRAM S-1**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA**

No : 594 / TA / FT-USD / TM September/ 2005

Nama : Emanuel Vivin Susatyo  
NIM : 995214140  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul :  
*Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik pada Kotak Pendingin Obat..*

Tanggal dimulai : 10 Mei 2005

Pembimbing II

Yogyakarta, 22 September 2005

Pembimbing I

Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.



# JURUSAN TEKNIK MESIN

## FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman - Yogyakarta  
Telp. (0274) 883037, 883968, 886530; Fax. (0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

### TUGAS AKHIR PROGRAM S-1

### JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

### UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No : 594/ TA / FT-USD / TM / September / 2005

Nama : Emanuel Vivin Susatyo  
Nim : 995214140  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta  
Judul :

*Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik pada Kotak Pendingin Obat.*

Tanggal dimulai : 10 Mei 2005

Pembimbing I : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Pembimbing II :

No	Tgl	Uraian	Keterangan	Tanda Tangan
1	13 mei '05	Pembuatan Alat		<u>Rusdi</u>
2	30 mei '05	Pengambilan Data.		<u>Rusdi</u>
3	28 juni '05	Latar Belakang + Pendahuluan		<u>Rusdi</u>
4	7 juli '05	Dasar Teori		<u>Rusdi</u>
5	11 juli '05	Pendalaman		<u>Rusdi</u>
6	20 agust'05	Pembuatan Grafik.	Revisi.	<u>Rusdi</u>
7	29 agust'05	Analisa + Kesimpulan	Revisi.	<u>Rusdi</u>
8				

## KATA PENGANTAR

Fuji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas bimbingan serta rahmat yang telah diberikan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir “Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik pada Kotak Pendingin Obat”.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk meraih gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta

Penulis mengambil tema Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik Pada Kotak Pendingin Obat dalam penyusunan tugas akhir ini berdasarkan minat penulis pada mata kuliah Rekayasa Tenaga Surya yang dapat dijadikan bekal dalam memasuki dunia kerja.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan di dalam tugas akhir ini. Untuk itu dengan rendah hati dan terbuka penulis berharap akan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaannya.

Akhirnya penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu penulis hingga terselesainya tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. Romo Ir. Greg. Heliarko, S.J.,SS.,B.ST.,MA.,M.Sc., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Yosef Agung Cahyanta, ST.,MT, selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.



3. Bapak Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan perhatian dalam membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
4. Segenap dosen, karyawan, dan teman-teman Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma, yang telah membantu dalam keseluruhan proses penyusunan.

Semoga beliau semua selalu diberkati oleh Tuhan Yang Maha Kasih sehingga perbuatan mulia selalu terpancar dalam diri beliau.

Semoga akhirnya rancangan ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang tertarik untuk mendalami lebih lanjut.

Yogyakarta, Oktober 2005

Penulis

## INTISARI

Pendinginan Termoelektrik yang sering juga disebut efek Peltier adalah cara perpindahan kalor keaduan padat melalui material semi konduktor yang berbeda (tipe n dan tipe p). Jika arus dialirkan melalui semi konduktor ini maka kalor akan diserap pada satu sisi (sisi dingin) dan dialirkan ke sisi lain (sisi panas).

Dalam Tugas Akhir ini dicoba merancang sebuah kotak pendingin obat untuk mengetahui karakteristik modul termoelektrik dengan seri TEC-12706 yang banyak terdapat di Yogyakarta. Kotak pendingin obat ini dibuat berbentuk kubus dengan ukuran luar 30 cm x 30 cm x 30 cm dengan kapasitas  $\pm$  20 liter, dalam proses penelitian memvariasikan dengan variasi suhu sekitar, arus masukan, jumlah kipas luar, posisi termoelektrik, arah aliran udara kipas luar dan sumber arus masukan.

Dari hasil penelitian dan perhitungan rancangan kotak pendingin obat diperoleh bahwa pengaruh dari beda temperatur sisi panas dan sisi dingin sangat besar bagi kapasitas pendinginan dan koefisien unjuk kerja dari termoelektrik, oleh karena itu diperlukan pembuangan panas yang efisien pada sisi panas termoelektrik dan kontak yang baik antara permukaan sirip-sirip (*cold sink* dan *heat sink*) dengan permukaan termoelektrik.

## DAFTAR ISI



<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PENGUJI</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PERSOALAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN KONSULTASI</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>INTISARI</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
1.5 Batasan Masalah .....	7
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1 Dasar Teori .....	8

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Peralatan Penelitian .....	17
3.1.1	Skema Alat.....	17
3.1.2	Peralatan yang digunakan pada penelitian .....	17
3.2	Langkah Penelitian .....	18
3.3	Langkah Pengambilan dan Pengolahan data .....	20
3.4	Parameter yang dihitung .....	20

### **BAB IV HASIL PERCOBAAN**

4.1	Hasil Percobaan .....	23
4.1.1	Variasi Suhu Sekitar .....	23
4.1.2	Variasi Jumlah Kipas Luar .....	24
4.1.3	Variasi Posisi Termoelektrik .....	25
4.1.4	Variasi Arah Aliran Udara Kipas Luar .....	27
4.1.5	Variasi Sumber arus .....	28
4.1.6	Variasi Arus Masukkan .....	29
4.2	Perhitungan Pengambilan Data .....	32
4.2.1	Perhitungan pada variasi suhu lingkungan .....	32
4.3	Tabel Hasil Perhitungan .....	38
4.4	Grafik Hasil Penelitian .....	44
4.4.1	Variasi Arus Masukkan .....	44
4.4.2	Variasi Suhu Lingkungan .....	48
4.5	Analisa .....	53

**BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran .....	56
5.3 Penutup .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>58</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Susunan modul termoelektrik .....	9
Gambar 2 Sistem-sistem pendinginan dengan energi surya .....	10
Gambar 3 Skema kotak pendingin obat .....	17
Gambar 4 Skema posisi dingin termoelektrik menempel <i>cold sink</i> .....	19
Gambar 5 Skema posisi dingin termoelektrik menempel <i>heat sink</i> .....	19
Gambar 6 Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi arus masukan .....	44
Gambar 7 Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) pada variasi arus masukan .....	45
Gambar 8 Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi arus masukan .....	45
Gambar 9 Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) pada variasi arus masukan .....	46
Gambar 10 Grafik hubungan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) dan waktu pada variasi arus masukan .....	46
Gambar 11 Grafik hubungan sisi panas termoelektrik ( $T_{H1}$ ) dan waktu pada variasi arus masukan .....	47
Gambar 12 Grafik hubungan beda temperatur ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi arus masukan .....	47
Gambar 13 Grafik hubungan unjuk kerja keseluruhan ( $Z$ ) dan waktu pada variasi arus masukan .....	48

Gambar 14 Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan .....	48
Gambar 15 Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) pada variasi suhu lingkungan .....	49
Gambar 16 Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan .....	49
Gambar 17 Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) pada variasi suhu lingkungan .....	50
Gambar 18 Grafik hubungan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan .....	50
Gambar 19 Grafik hubungan sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan .....	51
Gambar 20 Grafik hubungan beda temperatur ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan .....	51
Gambar 21 Grafik hubungan unjuk kerja keseluruhan ( $Z$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 data pada variasi suhu sekitar dengan suhu lingkungan $32,5^{\circ}\text{C}$ .....	23
Tabel 2 data pada variasi suhu sekitar dengan suhu lingkungan $27,1^{\circ}\text{C}$ .....	24
Tabel 3 data pada variasi jumlah kipas luar .....	24
Tabel 4 Data pada variasi posisi termoelektrik sisi panas menempel <i>heat sink</i> tanpa perantara .....	26
Tabel 5 Data pada variasi posisi termoelektrik sisi panas menempel <i>cold sink</i> tanpa perantara .....	26
Tabel 6 Data pada variasi arah aliran udara kipas luar mendorong suhu panas <i>heat sink</i> .....	27
Tabel 7 Data pada variasi arah aliran udara kipas luar menghisap suhu panas <i>heat sink</i> .....	28
Tabel 8 Data pada variasi sumber arus sel surya .....	28
Tabel 9 Data pada variasi sumber arus adaptor .....	29
Tabel 10 Data pada variasi arus masukan 2A dan 1A .....	30
Tabel 11 Data pada variasi arus masukan 3A .....	31
Tabel 12 Tabel perhitungan data pada variasi suhu sekitar dengan suhu lingkungan $32,5^{\circ}\text{C}$ .....	32
Tabel 13 Tabel perhitungan data pada variasi suhu sekitar dengan suhu lingkungan $27,1^{\circ}\text{C}$ .....	32
Tabel 14 Tabel perhitungan data pada variasi jumlah kipas luar .....	33



Tabel 15	Tabel perhitungan data pada variasi posisi termoelektrik sisi panas menempel <i>heat sink</i> tanpa perantara .....	33
Tabel 16	Tabel perhitungan data pada variasi posisi termoelektrik sisi dingin menempel <i>cold sink</i> tanpa perantara .....	34
Tabel 17	Tabel perhitungan data pada variasi arah aliran udara kipas luar mendorong suhu panas <i>heat sink</i> .....	34
Tabel 18	Tabel perhitungan data pada variasi arah aliran udara kipas luar menghisap suhu panas <i>heat sink</i> .....	35
Tabel 19	Tabel perhitungan data pada variasi sumber arus sel surya .....	35
Tabel 20	Tabel perhitungan data pada variasi sumber arus adaptor .....	36
Tabel 21	Tabel perhitungan data pada variasi arus masukan 2A dan 1A ...	36
Tabel 22	Tabel perhitungan data pada variasi arus masukan 3A .....	37

## DAFTAR NOTASI

- $S_M$  : Koefisien Seebeck
- $R_M$  : Tahanan Listrik modul termoelektrik
- $K_M$  : Konduktansi termal modul termoelektrik
- $S_M$  : Koefisien Seebeck modul (V/K)
- $T$  : Temperatur rata-rata modul (K)
- $S_{MTH}$  : Koefisien Seebeck modul pada sisi panas  $T_H$  (V/K)
- $S_{MTC}$  : Koefisien Seebeck modul pada sisi dingin  $T_C$  (V/K)
- $R_{MTH}$  : Tahanan Listrik modul pada sisi panas  $T_H$  (ohm)
- $R_{MTC}$  : Tahanan Listrik modul pada sisi dingin  $T_C$  (ohm)
- $K_{MTH}$  : Konduktansi termal modul pada sisi panas  $T_H$  (W/K)
- $K_{MTC}$  : Konduktansi termal modul pada sisi dingin  $T_C$  (W/K)
- $S_{new}$  : Koefisien Seebeck untuk modul yang baru (V/K)
- $R_{new}$  : Tahanan listrik untuk modul yang baru (ohm)
- $K_{new}$  : Konduktansi termal untuk modul yang baru (W/K)
- $N_{new}$  : Jumlah pasangan semikonduktor untuk modul yang baru
- $I_{new}$  : Arus optimum atau maksimum untuk modul yang baru (A)
- $V_{IN}$  : Masukkan tegangan (V)
- $Z$  : Unjuk kerja keseluruhan
- $P_{IN}$  : Masukkan daya listrik (watt)
- $COP$  : Koefisien unjuk kerja modul termoelektrik
- $Q_C$  : Panas yang dipompa oleh modul termoelektrik (watt)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Obat berperan sangat penting dalam pelayanan kesehatan. Penanganan dan pencegahan berbagai penyakit tidak dapat dilepaskan dari tindakan terapi dengan obat atau *farmakoterapi*. Berbagai pilihan obat saat ini tersedia sehingga diperlukan pertimbangan-pertimbangan yang cermat dalam memilih obat untuk suatu penyakit, tidak kalah penting obat harus selalu digunakan secara benar agar memberikan manfaat klinik yang optimal.

Dalam penyimpanan dan pada penanganan bahan obat atau sediaan obat harus diperhatikan aturan perlindungan terhadap kecelakaan kerja dan kebakaran. Adapun jenis-jenis penyimpanan :

- a *Sangat hati-hati* obat yang harus disimpan seperti ini dalam keadaan terkunci dan harus menggunakan resep dokter.
- b *Hati-hati* obat ini harus disimpan terpisah dari obat-obat lain dan harus menggunakan resep dokter.

Tiap obat harus disimpan sedemikian hingga cukup terlindung dari pengotoran mekanik, kehilangan rasa, kelembaban dan pengaruh bau tertentu. Disamping itu dinyatakan jenis penyimpanan lainnya :

- a Dalam wadah yang tertutup sangat baik; obat sedemikian harus disimpan terlindungi dari pengaruh uap air, karbondioksida dan oksigen udara serta pengaruh lain yang mengurangi mutunya.

Wadah yang dapat digunakan antara lain wadah yang tutupnya dilengkapi dengan parafin atau lak atau ampel yang dilelehkan.

- b Obat dengan tanda terlindung dari cahaya; obat ini harus disimpan dalam wadah coklat tua atau wadah dari logam, plastik atau bahan lain yang tidak tembus cahaya.
- c Terlindung dari kelembaban; obat harus disimpan dari kelembaban relatif tidak lebih dari 65%
- d Diatas bahan pengering; dalam hal ini obat disimpan dalam wadah yang didalamnya ada bahan pengering, untuk ini dapat digunakan wadah dengan tutup berlubang yang diisi dengan bahan pengering tertentu lalu ditutup dengan kapas. Bahan pengering harus tidak berbau dan tidak boleh mengurangi mutu obat.

Sebagai bahan pengering dapat digunakan antara lain kapur bakar, kalsium klorida kristal atau silika gel.

- g Sejuk; obat harus disimpan pada suhu antara  $5 - 15^{\circ} C$
- h Sangat sejuk; obat harus disimpan pada suhu antara  $2 - 5^{\circ} C$

Jika tidak dinyatakan suhu tertentu maka obat disimpan pada suhu antara  $15 - 25^{\circ} C$ , penyimpanan pada suhu ini diizinkan selama mutu obat tidak berkurang, jika penyimpanan diharuskan dalam wadah yang diisi penuh maka peraturan ini tidak berlaku jika obat disimpan dalam wadah sesuai kebutuhan pembuatan resep.

Pada tiap wadah yang menyimpan obat harus diberi tanda nomor *batch* dan tanggal pembuatan, jika tidak dinyatakan lain maka bahan obat dan sediaan obat tidak digunakan lagi 5 tahun setelah bulan pembuatannya kecuali kalau dalam masing-masing monografi baik pada persyaratan bahan obat maupun sediaan dinyatakan lain.

Bahan obat atau sediaan obat ini setelah berakhirnya 5 tahun masih dapat disimpan lagi jika dapat dibuktikan bahwa aturan yang tercantum dalam monografi masih terpenuhi.

Pada sistem Pendinginan bahan makanan, minuman, obat, vaksin, atau bahan lainnya saat ini banyak yang bekerja dengan sistem kompresi uap dan hampir semua sistem ini menggunakan refrijeran sintetis seperti : R-11, R-12, R-22, R-134a dan R-502.

Refrijeran sintetis mempunyai dampak negatif pada lingkungan seperti merusak lapisan ozon dan menimbulkan pemanasan global. Usaha yang banyak dilakukan untuk mengatasi masalah lingkungan ini adalah mencari bahan refrijeran yang ramah lingkungan, atau mencari sistem pendingin selain sistem kompresi uap dan sistem pendingin termoelektrik merupakan salah satu sistem pendingin yang banyak diteliti dan dikembangkan saat ini. Pendinginan termoelektrik (efek Peltier) adalah cara perpindahan kalor keadaan padat melalui material semikonduktor yang berbeda (tipe n dan tipe p). jika arus dialirkan melalui semikonduktor ini maka kalor akan diserap pada satu sisi (sisi dingin) dan dialirkan ke sisi lain (sisi panas).

Untuk pendinginan dengan kapasitas kecil (dibawah 300 Watt) sistem pendinginan termoelektrik menghasilkan COP yang lebih tinggi dibandingkan sistem kompresi uap.

Selain itu sistem pendinginan termoelektrik memiliki beberapa keuntungan lain yaitu :

1. Tidak menggunakan refrijeran sehingga bahan yang diinginkan tidak terkontaminasi dan tidak merusak lingkungan.
2. Tidak ada komponen yang bergerak (tidak bergetar/berisik)
3. Perawatan mudah dan murah (tidak perlu mengganti refrigeran/komponen lain secara berkala seperti pada sistem kompresi uap)
4. Ukuran kecil dan ringan
5. Mudah dioperasikan dan temperatur dapat dikontrol secara tepat
6. Kapasitas pendinginan dapat diatur secara mudah dengan mengatur besar arus yang dialirkan ke elemen termoelektrik .
7. Dapat menjadi pemanas dengan membalik arah arus listriknya.
8. Umur pemakaian panjang (dapat dipakai selama 250.000 jam)
9. Tidak terpengaruh gravitasi (posisi dapat sembarangan).
10. Dapat menggunakan energi surya (dengan solar sel)

Dan juga termoelektrik mempunyai beberapa kelemahan :

1. Rendahnya unjuk kerja (COP) sebagai pendingin.
2. Sulitnya untuk mencapai suhu pendinginan yang rendah.
3. Rendahnya kedaan konstan terutama saat sumber tenaga terputus.

Sistem pendinginan termoelektrik sangat sesuai dengan kondisi negara berkembang seperti Indonesia karena umur pemakaian yang panjang, perawatan mudah dan murah, bersih serta ramah lingkungan selain itu dapat menggunakan sumber energi matahari atau aki sehingga dapat dipakai didaerah yang belum ada jaringan listriknya. Saat ini termoelektrik banyak dipakai di rumah tangga (pendingin makanan, minuman, elektronik, dll)

Dalam perancangan pendingin yang menggunakan termoelektrik harus diketahui karakteristik dan modul termoelektriknya agar dapat dirancang pendingin yang sesuai dengan beban pendingin dan kondisi yang dicapai.

## 1.2 Perumusan Masalah

Di Yogyakarta termoelektrik yang banyak dijual dipasaran menurut survey adalah termoelektrik dengan seri TEC tingkat 1 dengan jumlah elmen 127 arus maksimal 6 A (TEC1-12706).

Data tambahan yang berasal dari internet adalah ukuran 40 x 40 x 3,8 mm (W x D x H), berat 27 gr, arus maximum ( $I_{Max}$ ) = 6,4 A, tegangan maksimal ( $V_{Max}$ ) = 14,9 V, kapasitas pendinginan ( $Q_{Max}$ ) pada ( $\Delta T = 0$ ) = 53 watt, beda temperatur (sisi panas dan sisi dingin) ( $\Delta T_{Max}$ ) = 68<sup>o</sup>C

Karakteristik yang akan diteliti :

- a. Hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_C$ ) dan arus yang masuk ( $I_{IN}$ ) pada beberapa beda temperatur sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ).
- b. Hubungan  $Q_C$  dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi arus.

- c. Hubungan  $Q_C$  dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan.
- d. Hubungan  $Q_C$  dan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi arus.
- e. Hubungan  $Q_C$  dan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi suhu lingkungan.
- f. Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dan arus yang masuk ( $I_{IN}$ ) pada beberapa beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ).
- g. Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi arus.
- h. Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan.
- i. Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi arus.
- j. Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi suhu lingkungan.
- k. Hubungan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan.
- l. Hubungan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) dan waktu pada variasi arus.
- m. Hubungan sisi panas TEC ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi arus.
- n. Hubungan sisi panas TEC ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan.
- o. Hubungan sisi panas TEC ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi arus
- p. Hubungan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi arus.
- q. Hubungan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan.



### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti :

Mengetahui karakteristik modul termoelektrik (seri TEC-12706 yang banyak terdapat di Yogyakarta) pada penggunaan kotak pendingin obat yang dapat digunakan sebagai dasar perancangan pendingin agar memperoleh alat pendingin yang efisien sesuai dengan keperluan.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Dapat mengetahui karakteristik modul termoelektrik (seri TEC-12706 yang banyak terdapat di Yogyakarta) untuk pendinginan pada penggunaan kotak pendingin obat dengan perancangan.
2. Dapat digunakan sebagai dasar perancangan membuat alat pendingin terutama didaerah terpencil yang belum terdapat jaringan listrik (untuk menyimpan/pendingin/vaksin/obat)
3. Menambah kepustakaan teknologi pendingin menggunakan termoelektrik.

### **1.5 Batasan Masalah**

Alat yang dibuat berbentuk kubus (penyimpan obat) kapasitas  $\pm$  20 liter dengan ukuran luar kotak 30 x 30 x 30 cm, dengan variasi temperatur suhu sekitar, arus masukan, jumlah kipas luar, posisi termoelektrik, arah aliran udara kipas luar dan sumber arus

## **BAB II**

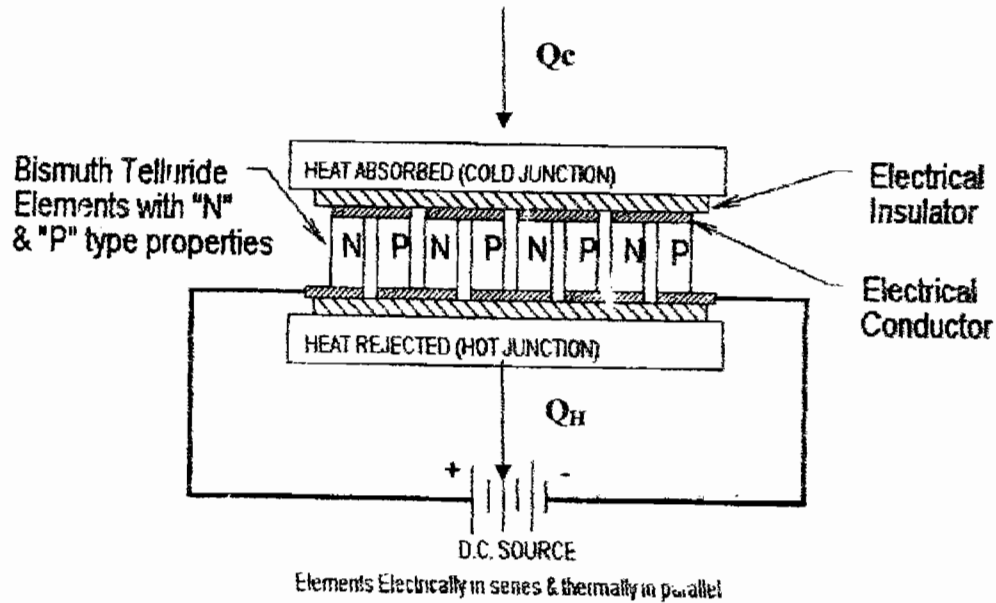
### **DASAR TEORI**

Refrigerasi berarti membuang kalor dari benda atau ruang agar didapat temperatur di bawah temperatur alami sekitarnya. Pendinginan termoelektrik yang sering juga disebut efek Peltier adalah cara perpindahan kalor keadaan padat melalui material semikonduktor yang berbeda (tipe n dan tipe p).

Jika arus dialirkan melalui semikonduktor ini maka kalor akan diserap pada satu sisi (sisi dingin) dan dialirkan ke sisi lain (sisi panas). Jika dibandingkan dengan pendinginan siklus kompresi uap maka sisi dingin berfungsi sebagai evaporator, sisi panas dengan penukar kalor berupa sirip (*heat sink*) sebagai kondensor dan sumber arus DC sebagai kompresornya.

Elemen semikonduktor pada modul termoelektrik (tipe p dan tipe n) terhubung seri secara listrik dan terhubung paralel secara termal. Pada sisi dingin energi (kalor) diserap elektron ketika elektron mengalir dari elemen semikonduktor level energi rendah (tipe p) ke elemen semikonduktor level energi tinggi (tipe n). sumber DC menggerakkan elektron mengalir ke tiap elemen semikonduktor (tipe n dan tipe p) yang terhubung seri dengan konduktor listrik. Pada sisi panas energi (kalor) dilepas elektron ketika elektron mengalir dari elemen semikonduktor level energi tinggi (tipe n) ke elemen semikonduktor level energi rendah (tipe p), kalor kemudian dibuang dari sisi panas ke lingkungan melalui penukar kalor (*heat sink*). Jumlah energi kalor yang dapat dipindahkan dari

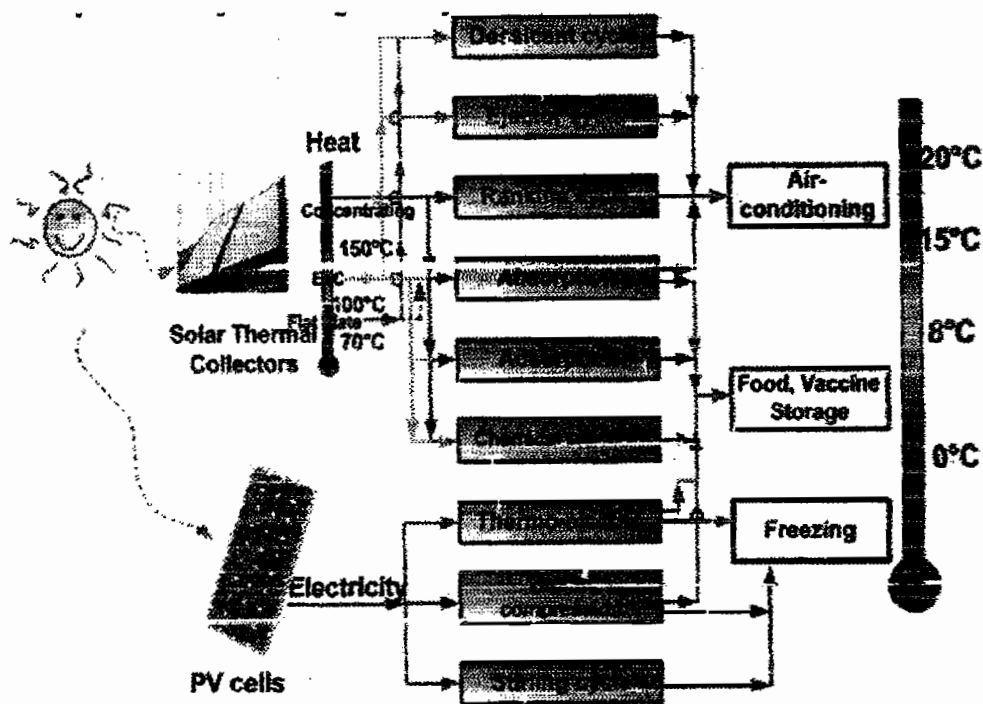
sisi dingin ke sisi panas modul termoelektrik berbanding lurus dengan jumlah yang dihasilkan sumber DC dan jumlah pasangan elemen semikonduktor.



Gambar. 1: Susunan modul termoelektrik

Penggunaan sumber tenaga energi matahari dengan sel surya sekarang menjadi salah satu alternatif dalam aplikasi refrigerasi dan pendinginan. Energi matahari dapat menggantikan tenaga listrik dan segala mekanisme kerja yang menjalankan mesin pendingin.

Dibawah ini ada gambar skema sistem-sistem pendinginan dengan menggunakan tenaga surya



Gambar. 2: Sistem-sistem pendinginan dengan energi surya

Rumus-rumus dasar teori yang digunakan untuk mengetahui karakteristik sehingga dapat dirancang pendingin yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan

Ukuran unjuk kerja keseluruhan dan bahan atau modul termoelektrik umumnya dinyatakan dengan figure of merit ( $Z$ ) dan dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z = \frac{S_M^2}{R_M \times K_M} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

$S_M$  : Koefisien Seebeck

$R_M$  : Tahanan Listrik modul termoelektrik

$K_M$  : Konduktansi termal modul termoelektrik

Harga-harga  $S_M$ ,  $R_M$  dan  $K_M$  modul termoelektrik tergantung dari bahan semikonduktor dan temperaturnya. Untuk bahan semikonduktor *bismuth-telluride* yang umumnya dipakai (termasuk seri TEC1-12706) harga-harga dapat dihitung dengan persamaan (berlaku untuk kisar temperatur  $-100^{\circ}\text{C}$  sampai  $+150^{\circ}\text{C}$ ) :

Koefisien Seebeck :

$$S_M = s_1 + s_2T + s_3T^2 + s_4T^3 \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

$S_M$  : Koefisien Seebeck modul (V/K)

$T$  : Temperatur rata-rata modul (K)

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 ampere :

$$s_1 = 1.33450 \times 10^{-2}$$

$$s_2 = -5.37574 \times 10^{-5}$$

$$s_3 = 7.42731 \times 10^{-7}$$

$$s_4 = -1.27141 \times 10^{-9}$$

Persamaan diatas hanya berlaku untuk menghitung koefisien *Seebeck* dengan beda temperatur antara sisi dingin dan sisi panas sama dengan nol ( $\Delta T = T_H - T_C = 0$ ). Jika  $\Delta T > 0$  maka koefisien Seebeck harus dihitung pada kedua temperatur  $T_H$  dan  $T_C$  menggunakan persamaan :

$$S_{MTH} \text{ atau } S_{MTC} = s_1T + \frac{s_2T^2}{2} + \frac{s_3T^3}{3} + \frac{s_4T^4}{4} \dots\dots\dots(3)$$

$$S_M = (S_{MTH} - S_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots(4)$$

dengan :

$S_{MTH}$  : Koefisien Seebeck modul pada sisi panas  $T_H$  (V/K)

$S_{MTC}$  : Koefisien Seebeck modul pada sisi panas  $T_C$  (V/K)

Tahanan Listrik Modul termoelektrik :

Jika  $\Delta T = 0$

$$R_M = r_1 + r_2 T + r_3 T^2 + r_4 T^3 \dots\dots\dots(5)$$

Jika  $\Delta T > 0$

$$R_{MTH} \text{ atau } R_{MTC} = r_1 T + \frac{r_2 T^2}{2} + \frac{r_3 T^3}{3} + \frac{r_4 T^4}{4} \dots\dots\dots(6)$$

$$R_M = (R_{MTH} - R_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots(7)$$

dengan :

$R_M$  : Tahanan Listrik modul (V/K)

$T$  : Temperatur rata-rata modul (K)

$R_{MTH}$  : Tahanan Listrik modul pada sisi panas  $T_H$  (ohm)

$R_{MTC}$  : Tahanan Listrik modul pada sisi panas  $T_C$  (ohm)

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 ampere :

$$r_1 = 2.08317$$

$$r_2 = -1.98763 \times 10^{-2}$$

$$r_3 = 8.53832 \times 10^{-5}$$

$$r_4 = -9.03143 \times 10^{-8}$$

Konduktansi termal modul :

Jika  $\Delta T = 0$

$$K_M = k_1 + k_2 T + k_3 T^2 + k_4 T^3 \dots\dots\dots(8)$$

Jika  $\Delta T > 0$

$$K_{MTH} \text{ atau } K_{MTC} = k_1 T + \frac{k_2 T^2}{2} + \frac{k_3 T^3}{3} + \frac{k_4 T^4}{4} \dots\dots\dots(9)$$

$$K_M = (K_{MTH} - K_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots(10)$$

dengan :

$K_M$  : Konduktansi termal modul (W/K)

$T$  : Temperatur rata-rata modul (K)

$K_{MTH}$  : Konduktansi termal modul pada sisi panas  $T_H$  (W/K)

$K_{MTC}$  : Konduktansi termal modul pada sisi panas  $T_C$  (W/K)

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 ampere :

$$k_1 = 4.76218 \times 10^{-1}$$

$$k_2 = -3.89821 \times 10^{-6}$$

$$k_3 = -8.64864 \times 10^{-6}$$

$$k_4 = 2.20869 \times 10^{-8}$$

Untuk modul elektrik dengan jumlah semikonduktor dan arus selain 71 pasang 6 ampere maka harga  $S_M$ ,  $R_M$  dan  $K_M$  diatas harus dikonversi dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut :

$$S_{new} = S_M \times \frac{N_{new}}{71} \dots\dots\dots(11)$$

$$R_{new} = R_M \times \frac{6}{I_{new}} \times \frac{N_{new}}{71} \dots\dots\dots(12)$$

$$K_{new} = K_M \times \frac{I_{new}}{6} \times \frac{N_{new}}{71} \dots\dots\dots(13)$$

dengan :

$S_{new}$  : Koefisien Seebeck untuk modul yang baru (V/K)

$R_{new}$  : Tahanan listrik untuk modul yang baru (ohm)

$K_{new}$  : Konduktansi termal untuk modul yang baru (W/K)

$N_{new}$  : Jumlah pasangan semikonduktor untuk modul yang baru

$I_{new}$  : Arus optimum atau maksimum untuk modul yang baru (A)

Temperatur yang dipakai pada persamaaan-persamaan untuk menghitung

$S_M$ ,  $R_M$  dan  $K_M$  adalah temperatur rata-rata sisi dingin dan sisi panas  $T_{avg}$  :

$$T_{avg} = \frac{T_H + T_C}{2} \dots\dots\dots(14)$$

#### Unjuk kerja termoelektrik :

Pada dasarnya ada lima parameter yang menentukan unjuk kerja sebuah modul termoelektrik, kelima parameter tersebut adalah :

1.  $I_{IN}$  : Arus masukan ke modul teroelektrik dalam amper
2.  $V_{IN}$  : Tegangan masukan ke modul termoelektrik dalam volt
3.  $T_H$  : Temperatur sisi panas modul termoelektrik dalam Kelvin
4.  $T_C$  : Temperatur sisi dingin modul termoelektrik dalam Kelvin
5.  $Q_C$  : Panas yang masuk sisi dingin modul termoelektrik dalam watt



Dalam perhitungan unjuk kerja modul sekurangnya tiga dari lima parameter diatas ditentukan, umumnya parameter yang ditetapkan adalah  $T_H$ ,  $I_{IN}$ ,  $Q_C$  atau  $T_H$ ,  $I_{IN}$  dan  $T_C$

Perhitungan modul termoelektrik satu tingkat

Beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) modul termoelektrik (dalam K) dihitung dengan persamaan :

$$\Delta T = T_H - T_C \dots\dots\dots(15)$$

panas yang dipompa oleh modul termoelektrik ( $Q_C$ ) pada sisi dingin (dalam watt) dihitung dengan persamaan :

$$Q_C = (S_M \times T_C \times I) - (0.5 \times I^2 \times R_M) - (K_M \times \Delta T) \dots\dots\dots(16)$$

Masukkan tegangan ( $V_{IN}$ ) modul termoelektrik (dalam volt) dihitung dengan persamaan :

$$V_{IN} = (S_M \times \Delta T) + (I_{IN} \times R_M) \dots\dots\dots(17)$$

Perhitungan Unjuk kerja keseluruhan dari bahan atau modul termoelektrik

figure of merit (Z) :

$$Z = \frac{S_M^2}{R_M \times K_M} \dots\dots\dots(18)$$

Masukkan daya listrik ( $P_{IN}$ ) modul termoelektrik (dalam watt) dihitung dengan persamaan :

$$P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN} \dots\dots\dots(19)$$

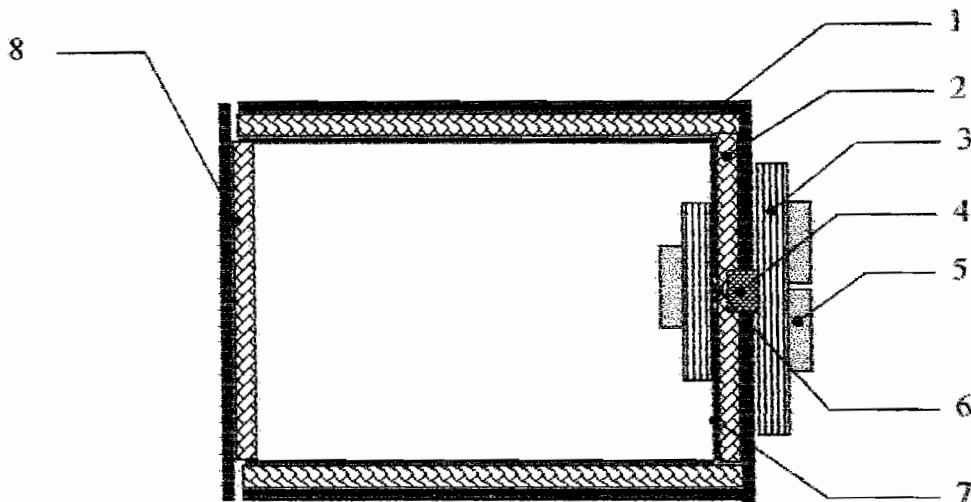
Koefisien unjuk kerja modul termoelektrik (COP) sebagai pendingin  
dihitung dengan persamaan :

$$\text{COP} = Q_C / P_{\text{IN}} \dots \dots \dots (20)$$

### BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Peralatan Penelitian



Gambar. 3 Skema Kotak pendingin obat

##### 3.1.1 Skema alat :

- |                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 1. Kayu Triplek       | 5. Kipas Luar     |
| 2. Busa gabus         | 6. Termoelektrik  |
| 3. Heat sink          | 7. Plat Alumunium |
| 4. Alumunium silinder | 8. Tutup Kotak    |

##### 3.1.2 Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Sumber DC
2. Termoelektrik TEC 12706
3. Heat sink

4. Kipas
5. Termokopel
6. Display temperatur
7. Sel surya; seri : 94828 (1x1 meter)
8. Voltmeter
9. *Stopwatch*
10. Lampu 100 watt untuk variasi suhu lingkungan

### **3.2 Langkah Penelitian**

Parameter yang divariasikan :

1. Arus Masukan ( $I_{IN}$ )

Dengan :

- a. Mengubah arus masukkan ke kotak pendingin obat.
- b. Data diambil tiap 10 menit.

2. Jumlah Kipas Luar

Dengan :

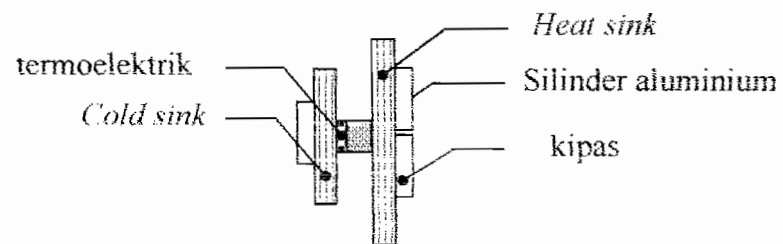
- a. Menambah jumlah kipas luar
- b. Data diambil setiap 10 menit.

### 3. Posisi Termoelektrik

Dengan :

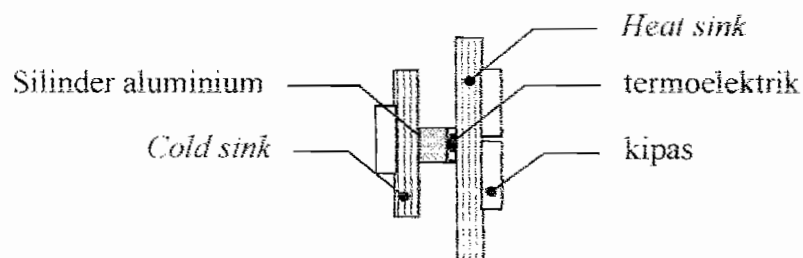
#### a. Mengubah posisi termoelektrik

##### 1. Sisi dingin termoelektri menempel cold sink



Gambar. 4 skema posisi sisi dingin termoelektrik menempel *cold sink*

##### 2. Sisi panas termoelektrik menempel heat sink



Gambar. 5 skema posisi sisi panas termoelektrik menempel *heat sink*

b. Data diambil tiap 10 menit.

### 4. Sumber Arus

Dengan :

a. Menggunakan sumber DC.

b. Menggunakan sel surya.

c. Data diambil tiap 10 menit.

### 5. Suhu lingkungan

Dengan :

- a. Di sekeliling kotak diberi lampu 3x100 watt.
- b. Data diambil tiap 10 menit.

### 6. Arah angin Kipas Luar

Dengan :

- a. Membalik posisi kipas luar sehingga arah aliran udara berubah.
- b. Data diambil tiap 10 menit.

## 3.3 Langkah Pengambilan dan Pengolahan data

Parameter yang diukur :

$T_a$  : Temperatur udara sekitar

$T_H$  : Temperatur sisi panas termoelektrik

$T_C$  : Temperatur sisi dingin termoelektrik

$I_{IN}$  : Arus masukan dari sumber DC

$V_{IN}$  : Tegangan masukan dari sumber DC

Pengambilan data dilakukan dengan bermacam-macam variasi, pada tiap variasi data dicatat tiap 10 menit selama 1 jam.

## 3.4 Parameter yang dihitung :

1. Berdasarkan pengukuran temperatur sisi panas ( $T_H$ ) dan temperatur sisi dingin ( $T_C$ ) hitung temperatur rata-rata ( $T_{avg}$ ) dengan persamaan (14)

2. Hitung koefisien Seebeck ( $S_M$ ), tahanan listrik ( $R_M$ ) dan konduktansi termal ( $K_M$ ) modul termoelektrik, untuk  $S_M$  dengan persamaan (3), (4), untuk  $R_M$  dengan persamaan (6), (7), untuk  $K_M$  dengan persamaan (9), (10).
3. Hitung besar *figure of merit* ( $Z$ ) dengan persamaan (18)
4. Hitung panas yang dipompa modul termoelektrik pada sisi dingin ( $Q_C$ ) dengan persamaan (16)
5. Hitung daya masukan ( $P_{IN}$ ) dengan persamaan (19)
6. Hitung koefisien unjuk kerja (COP) dengan persamaan (20)
7. Buat grafik karakteristik modul termoelektrik TEC1-12706 yang terdiri dari :
  - a Hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_C$ ) dan arus yang masuk ( $I_{IN}$ ) pada beberapa beda temperatur sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ).
  - b Hubungan  $Q_C$  dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi arus.
  - c Hubungan  $Q_C$  dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan.
  - d Hubungan  $Q_C$  dan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi arus.
  - e Hubungan  $Q_C$  dan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi suhu lingkungan.
  - f Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dan arus yang masuk ( $I_{IN}$ ) pada beberapa beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ).
  - g Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi arus.

- h Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan.
- i Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi arus.
- j Hubungan COP (koefisien Unjuk Kerja) dengan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) pada variasi suhu lingkungan.
- k Hubungan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan.
- l Hubungan sisi dingin TEC ( $T_C$ ) dan waktu pada variasi arus.
- m Hubungan sisi panas TEC ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi arus.
- n Hubungan sisi panas TEC ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan.
- o Hubungan sisi panas TEC ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi arus
- p Hubungan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi arus.
- q Hubungan beda temperatur suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan.



**BAB IV**  
**HASIL PERCOBAAN**

**4.1 Hasil Percobaan**

**4.1.1 Variasi Suhu sekitar**

a. Suhu sekitar 32,5<sup>0</sup> C

Suhu Awal Lingkungan : 27,0<sup>0</sup> C

Suhu Lingkungan : 32,5<sup>0</sup> C

Kipas dalam kotak : 2

Kipas Luar kotak : 2 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas *heat sink*)

Susunan Termo elektrik : Sisi panas menempel *heat sink*

Kondisi : Tanpa beban

Sekitar Kotak diberi Lampu 3x100 Watt

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 1: Data pada variasi suhu sekitar

No	T1 Sisi Dingin ( <sup>0</sup> C)	T2 Sisi panas ( <sup>0</sup> C)	T3 Suhu dlm kotak ( <sup>0</sup> C)	T4 Dinding Kotak( <sup>0</sup> C)	Waktu (Menit)	Volt (V)	Ampere (A)
1	26.357	40.614	25.670	18.238	10	12,11	3,39
2	26.590	39.784	25.064	17.376	20	12,12	3,38
3	26.512	41.082	25.004	17.028	30	12,12	3,38
4	27.070	40.965	25.064	17.202	40	12,10	3,38
5	28.531	41.429	25.184	17.376	50	12,11	3,38
6	28.263	41.545	25.124	17.376	60	12,11	3,38
7	29.082	41.545	25.064	17.376	70	12,11	3,37

b. Suhu sekitar  $27,1^{\circ}\text{C}$

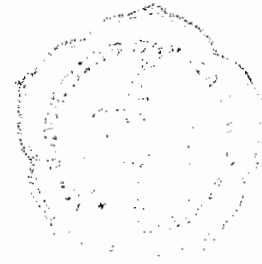
Suhu Lingkungan	: $27,1^{\circ}\text{C}$
Kipas dalam kotak	: 2
Kipas Luar kotak	: 2 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas <i>heat sink</i> )
Susunan Termo elektrik	: Sisi panas menempel <i>heat sink</i>
Kondisi	: Tanpa beban
Sumber arus	: Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 2: Data pada variasi suhu sekitar

No	T1 Sisi Dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 Sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	T3 Suhu dlm kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	T4 Dinding Kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu (Menit)	Volt (V)	Ampere (A)
1	22.975	31.945	25.548	18.066	10	12,11	3,48
2	22.755	32.083	24.884	16.153	20	12,12	3,43
3	22.671	31.945	24.235	16.153	30	12,12	3,42
4	22.549	32.493	24.235	14.554	40	12,10	3,45
5	22.549	32.356	24.235	14.195	50	12,11	3,46
6	22.549	31.670	24.119	14.015	60	12,11	3,48
7	22.472	31.945	24.061	13.834	70	12,11	3,46
8	22.510	33.035	24.003	13.653	80	12,11	3,44

#### 4.1.2 Variasi Jumlah Kipas Luar

Suhu Lingkungan	: $28,4^{\circ}\text{C}$
Kipas dalam kotak	: 2
Kipas luar kotak	: arah aliran udara luar mendorong suhu panas <i>heat sink</i>
Susunan Termoelektrik	: Sisi panas menempel <i>heat sink</i>



Kondisi : Tanpa beban

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 3: Data pada variasi jumlah kipas luar

No	T1 Sisi dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 Sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	T3 Suhu dlm kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	T4 Dinding Kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	Volt (V)	Ampere (A)	Waktu (Menit)	Ket
1	25.057	32.493	25.916	19.768	10,62	3,50	10	2 Kipas
2	24.982	32.900	25.366	17.549	10,60	3,50	20	2 Kipas
3	24.345	32.083	25.124	17.202	10,61	3,50	30	2 Kipas
4	24.413	34.371	24.765	16.153	10,58	3,50	40	2 Kipas
5	24.021	32.629	24.588	15.446	10,59	3,50	50	1 Kipas
6	23.959	32.765	24.647	15.268	10,60	3,49	60	1 Kipas
7	23.897	33.707	24.588	15.090	10,59	3,50	70	1 Kipas
8	23.959	37.334	24.529	20.938	10,69	3,39	72	-
9	26.193	40.965	24.529	14.912	10,72	3,30	74	-
10	27.592	44.334	24.647	15.623	10,75	3,20	76	-
11	31.589	46.434	24.884	16.328	10,77	3,17	79	-

#### 4.1.3 Variasi Posisi Termoelektrik

a. Sisi panas menempel heat sink tanpa perantara

Suhu Lingkungan :  $27,1^{\circ}\text{C}$

Kipas dalam kotak : 2

Kipas Luar kotak : 1 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas *heat sink*)

Susunan Termo elektrik : Sisi panas menempel *heat sink*

Kondisi : Tanpa beban

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 4: Data pada variasi posisi termoelektrik

No	T1 Sisi Dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 Sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	T3 Suhu dlm kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	T4 Dinding Kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu (Menit)	Volt (V)	Ampere (A)
1	22.975	31.945	25.548	18.066	10	12,11	3,49
2	22.755	32.083	24.884	16.153	20	12,12	3,49
3	22.671	31.945	24.235	16.153	30	12,12	3,50
4	22.549	32.493	24.235	14.554	40	12,10	3,50
5	22.549	32.356	24.235	14.195	50	12,11	3,51
6	22.549	31.670	24.119	14.015	60	12,11	3,49
7	22.472	31.945	24.061	13.834	70	12,11	3,50
8	22.510	33.035	24.003	13.653	80	12,11	3,50

b. Sisi dingin menempel *cold sink* tanpa perantara

Suhu Lingkungan : 29,6 $^{\circ}$  C

Kipas dalam kotak : 2

Kipas Luar kotak : 1 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas *heat sink*)

Susunan Termo elektrik : Sisi dingin menempel *cold sink*

Kondisi : Tanpa beban

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 5: Data pada variasi posisi termoelektrik

No	T1 Sisi Dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 Sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	T3 Suhu dlm kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	T4 Dinding Kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	Volt (V)	Ampere (A)	Waktu (Menit)
1	28.263	32.765	27.367	22.416	12,11	3,10	10
2	27.825	33.170	27.110	21.927	12,12	3,10	20
3	27.654	32.900	26.919	21.763	12,12	3,10	30
4	27.569	32.900	26.919	21.434	12,10	3,10	40
5	27.569	33.439	26.919	21.434	12,11	3,10	50
6	27.569	32.900	26.855	21.434	12,11	3,10	60
7	27.484	32.900	26.855	21.434	12,11	3,10	70
8	27.484	32.900	26.792	21.269	12,11	3,10	80

#### 4.1.4 Variasi Arah aliran udara kipas Luar

a. Arah aliran udara kipas luar mendorong suhu panas *heat sink*

Suhu Lingkungan : 28,5<sup>0</sup> C

Kipas dalam kotak : 2

Kipas luar kotak : 2 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas *heat sink*)

Susunan Termo elektrik : Sisi panas menempel *heat sink*

Kondisi : Tanpa beban

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 6: Data pada variasi arah aliran udara kipas luar

No	T1 Sisi dingin ( <sup>0</sup> C)	T2 Sisi panas ( <sup>0</sup> C)	T3 Suhu dlm kotak ( <sup>0</sup> C)	T4 Dinding Kotak ( <sup>0</sup> C)	Waktu (Menit)	Ampere (A)
1	25.980	36.703	25.426	20.104	10	3,43
2	25.688	36.576	24.588	18.751	20	3,44
3	25.545	36.448	24.003	17.202	30	3,44
4	25.688	36.321	23.658	16.679	40	3,44
5	25.335	36.193	23.487	16.153	50	3,44
6	25.335	36.065	23.317	15.800	60	3,45
7	25.197	35.936	23.261	15.800	70	3,45

b. Arah aliran udara kipas luar menghisap suhu panas *heat sink*

Suhu Lingkungan : 28,8<sup>0</sup> C

Kipas dalam kotak : 2

Kipas luar kotak : 2 (arah aliran udara menghisap suhu panas *heat sink*)

Susunan Termo elektrik : Sisi panas menempel *heat sink*

Kondisi : Tanpa beban

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 7: Data pada variasi arah aliran udara kipas luar

No	T1 Sisi dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 Sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	T3 Suhu dlm kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	T4 Dinding Kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu (Menit)	Ampere (A)
1	26.908	35.289	25.793	20.772	10	3,46
2	26.204	35.678	24.944	18.922	20	3,48
3	25.906	35.289	24.352	18.922	30	3,46
4	25.688	34.767	24.061	17.722	40	3,47
5	25.545	34.767	23.544	16.504	50	3,46
6	25.616	35.159	23.205	16.153	60	3,47
7	25.474	35.159	23.205	15.623	70	3,47
8	25.404	35.028	23.149	15.446	80	3,48

#### 4.1.5 Variasi Sumber Arus

a. Sumber arus sel surya

Suhu Lingkungan :  $28,7^{\circ}\text{C}$

Kipas dalam kotak : 2

Kipas Luar kotak : 2 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas *heat sink*)

Susunan Termo elektrik : Sisi panas menempel *heat sink*

Kondisi : Tanpa beban

Sumber Arus : Sel surya (jam 10.30 – 11.50 wib)

Tabel. 8: Data pada variasi Sumber arus

No	T1 Sisi Dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 Sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	T3 Suhu dlm kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	T4 Dinding Kotak ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu (Menit)	Volt (V)	Ampere (A)
1	25.266	36.193	26.919	21.269	10	11,95	3,48
2	24.239	19.374	26.539	20.439	20	11,96	3,43
3	23.780	34.767	26.226	19.092	30	11,96	3,42
4	23.780	34.898	25.916	18.581	40	11,96	3,45
5	23.836	35.028	25.609	18.238	50	11,90	3,46
6	23.780	33.840	25.548	17.894	60	11,96	3,48
7	23.891	33.974	25.305	17.549	70	11,95	3,46
8	23.725	30.976	25.184	17.376	80	11,95	3,44

## b. Sumber arus adaptor

Suhu Lingkungan	: 28,1 <sup>0</sup> C
Kipas dalam kotak	: 1
Kipas Luar kotak	: 2 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas <i>heat sink</i> )
Susunan Termoelektrik	: Sisi panas menempel <i>heat sink</i>
Kondisi	: Tanpa beban
Sumber arus	: Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 9: data pada variasi sumber arus

No	T1 sisi dingin (°C)	T2 sisi panas (°C)	Waktu (menit)	I (amper)
1	21.269	31.116	10	2.07
2	20.272	31.394	20	2.06
3	19.600	31.532	30	2.07
4	19.262	31.532	40	2.05
5	18.066	31.532	50	2.06
6	18.751	31.532	60	2.07
7	18.581	31.532	70	2.07
8	18.410	31.532	80	2.07

## 4.1.6 Variasi Arus masukan

## a. Arus 2 amper dan 1 amper

Suhu Lingkungan	: 28,0 <sup>0</sup> C
Kipas dalam kotak	: 2
Kipas Luar kotak	: 2 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas <i>heat sink</i> )
Susunan Termo elektrik	: Sisi panas menempel <i>heat sink</i>

Kondisi : Tanpa beban

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt

Tabel. 10: Data pada variasi arus masukan

No	T1 Sisi Dingin ( <sup>o</sup> C)	T2 Sisi panas ( <sup>o</sup> C)	T3 Suhu dlm Kotak ( <sup>o</sup> C)	T4 Dinding Kotak ( <sup>o</sup> C)	Volt (V)	Ampere (A)	Waktu (Menit)
1	24.544	29.282	26.164	19.768	6,84	2,02	10
2	23.948	28.274	25.609	17.894	6,80	2,01	20
3	23.780	29.139	25.245	16.854	6,82	2,02	30
4	23.780	30.135	25.064	16.328	6,83	2,03	40
5	23.891	29.993	24.884	15.800	6,70	1,98	50
6	23.780	29.993	24.706	15.268	6,70	1,98	60
7	23.780	28.419	24.647	15.090	6,65	1,98	70

b. Arus 3 amper

Suhu Lingkungan : 28,5<sup>o</sup> C

Kipas dalam kotak : 1

Kipas Luar kotak : 2 (arah aliran udara luar mendorong suhu panas *heat sink*)

Susunan Termo elektrik : Sisi panas menempel *heat sink*

Kondisi : Tanpa beban

Sumber arus : Adaptor 12.33 Volt



Tabel. 11: data pada variasi arus masukan

No	T1 sisi dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu (menit)	I (amper)
1	20.439	33.974	10	3.04
2	20.104	34.239	20	3.05
3	19.768	34.503	30	3.05
4	19.768	34.503	40	3.05
5	19.768	34.503	50	3.05
6	19.600	34.503	60	3.05
7	19.600	34.503	70	3.05
8	19.431	34.503	80	3.05

## 4.2 Perhitungan Pengambilan Data

### 4.2.1 Perhitungan pada variasi suhu lingkungan :

Perhitungan temperatur rata-rata ( $T_{avg}$ )

$$T_{avg} = \frac{T_H + T_C}{2} \dots\dots\dots(14)$$

Diketahui :  $T_H : 40,61 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = 313,61 \text{ K}$

$T_C : 26,36 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = 299,36 \text{ K}$

$$\begin{aligned} T'_{avg} &= \frac{313,61 + 299,36}{2} \\ &= 306,49 \text{ } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Perhitungan selisih Temperatur :

Beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) modul termoelektrik (dalam K) dihitung dengan persamaan :

$$\Delta T = T_H - T_C \dots\dots\dots(15)$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= 313,61 - 299,36 \\ &= 14,25 \text{ } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien seebeck :

$$S_M = (S_{MTH} - S_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots(4)$$

Karena  $S_{MTH}$  dan  $S_{MTC}$  belum diketahui maka dicari dengan sumus :

$$S_{MTH} \text{ atau } S_{MTC} = s_1 T + \frac{s_2 T^2}{2} + \frac{s_3 T^3}{3} + \frac{s_4 T^4}{4} \dots\dots\dots(3)$$

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 ampere :

$$s_1 = 1.33450 \times 10^{-2}$$

$$s_2 = -5.37574 \times 10^{-5}$$

$$s_3 = 7.42731 \times 10^{-7}$$

$$s_4 = -1.27141 \times 10^{-9}$$

$$S_{MTH} = 1.33450 \times 10^{-2} \times 313,61 + \frac{-5.37574 \times 10^{-5} \times 313,61^2}{2} + \frac{7.42731 \times 10^{-7} \times 313,61^3}{3} + \frac{-1.27141 \times 10^{-9} \times 313,61^4}{4}$$

$$= 4,18512 + (-2,64355) + 7,6362 + (-3,07457)$$

$$= 6,103 \text{ V/K}$$

$$S_{MTC} = 1.33450 \times 10^{-2} \times 299,36 + \frac{-5.37574 \times 10^{-5} \times 299,36^2}{2} + \frac{7.42731 \times 10^{-7} \times 299,36^3}{3} + \frac{-1.27141 \times 10^{-9} \times 299,36^4}{4}$$

$$= 3,9949 + (-2,4087) + 6,64188 + (-2,5527)$$

$$= 5,67538 \text{ V/K}$$

$$S_M = (S_{MTH} - S_{MTC}) / \Delta T \dots \dots \dots (4)$$

$$= (6,103 - 5,67538) / 14,25$$

$$= 0,03 \text{ V/K}$$

Perhitungan Tahanan Listrik  $R_M$  (ohm) :

$$R_{MTH} \text{ atau } R_{MTC} = r_1 T + \frac{r_2 T^2}{2} + \frac{r_3 T^3}{3} + \frac{r_4 T^4}{4} \dots\dots\dots (6)$$

$$R_M = (R_{MTH} - R_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots (7)$$

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 ampere :

$$r_1 = 2.08317$$

$$r_2 = -1.98763 \times 10^{-2}$$

$$r_3 = 8.53832 \times 10^{-5}$$

$$r_4 = -9.03143 \times 10^{-8}$$

$$R_{MTH} = 2.08317 \times 313,61 + \frac{-1.98763 \times 10^{-2} \times 313,61^2}{2} + \frac{8.53832 \times 10^{-5} \times 313,61^3}{3}$$

$$+ \frac{-9.03143 \times 10^{-8} \times 313,61^4}{4}$$

$$= 653.3029 + (-977.4292) + 877.8511 + (-218.4017)$$

$$= 335,328 \text{ ohm}$$

$$R_{MTC} = 2.08317 \times 299,36 + \frac{-1.98763 \times 10^{-2} \times 299,36^2}{2} + \frac{8.53832 \times 10^{-5} \times 299,36^3}{3}$$

$$+ \frac{-9.03143 \times 10^{-8} \times 299,36^4}{4}$$

$$= 623.6177 + (-890.6213) + 763.5412 + (-181.3308)$$

$$= 315,203 \text{ ohm}$$

$$R_M = (R_{MTH} - R_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots (7)$$

$$= (335,328 - 315,203) / 14,25$$

$$= 1,412 \text{ ohm}$$

Perhitungan Konduktansi Termal  $K_M$  :

$$K_{MTH} \text{ atau } K_{MTC} = k_1 T + \frac{k_2 T^2}{2} + \frac{k_3 T^3}{3} + \frac{k_4 T^4}{4} \dots\dots\dots (9)$$

$$K_M = (K_{MTH} - K_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots (10)$$

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 ampere :

$$k_1 = 4.76218 \times 10^{-1}$$

$$k_2 = -3.89821 \times 10^{-6}$$

$$k_3 = -8.64864 \times 10^{-6}$$

$$k_4 = 2.20869 \times 10^{-8}$$

$$K_{MTH} = 4.76218 \times 10^{-1} \times 313,61 + \frac{-3.89821 \times 10^{-6} \times 313,61^2}{2} + \frac{-8.64864 \times 10^{-6} \times 313,61^3}{3} + \frac{2,20869 \times 10^{-8} \times 313,61^4}{4}$$

$$= 149,3467 + (-0,1916) + (-88,9193) + 53,4114$$

$$= 113,648 \text{ W/K}$$

$$K_{MTC} = 4.76218 \times 10^{-1} \times 299,36 + \frac{-3.89821 \times 10^{-6} \times 299,36^2}{2} + \frac{-8.64864 \times 10^{-6} \times 299,36^3}{3} + \frac{2,20869 \times 10^{-8} \times 299,36^4}{4}$$

$$= 142.5606 + (-0.1746) + (-77.3406) + 44.3455$$

$$= 109,390 \text{ W/K}$$

$$\begin{aligned}
 K_M &= (K_{MTH} - K_{MTC}) / \Delta T \dots\dots\dots(10) \\
 &= (113,648 - 109,390) / 14.25 \\
 &= 0,295 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien seebeck dengan modul baru (V/K) :

$$\begin{aligned}
 S_{new} &= S_M \times \frac{N_{new}}{71} \dots\dots\dots(11) \\
 S_{new} &= 0,03 \times \frac{127}{71} \\
 &= 0,054 \text{ V/K}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Tahanan listrik dengan modul baru (ohm) :

$$\begin{aligned}
 R_{new} &= R_M \times \frac{6}{I_{new}} \times \frac{N_{new}}{71} \dots\dots\dots(12) \\
 R_{new} &= 1,412 \times \frac{6}{3,38} \times \frac{127}{71} \\
 &= 4,469 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Konduktansi termal dengan modul baru (W/K) :

$$\begin{aligned}
 K_{new} &= K_M \times \frac{I_{new}}{6} \times \frac{N_{new}}{71} \dots\dots\dots(13) \\
 K_{new} &= 0,295 \times \frac{3,38}{6} \times \frac{127}{71} \\
 &= 0,302 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Besar Figure of Merit (Z) :

$$Z = \frac{S_M^2}{R_M \times K_M} \dots\dots\dots(18)$$

$$Z = \frac{0,054^2}{4,469 \times 0,302}$$

$$= 0,00195$$

Perhitungan panas yang dipompa modul TEC pada sisi dingin (Qc) :

$$Q_C = (S_M \times T_C \times I) - (0.5 \times I^2 \times R_M) - (K_M \times \Delta T) \dots\dots\dots(16)$$

$$Q_C = (0,054 \times 299.357 \times 3,38) - (0.5 \times 3,38^2 \times 4,469) - (0,302 \times 14,25)$$

$$= 54,6386 - 25,5378 - 4,83035$$

$$= 24,521 \text{ watt}$$

Perhitungan daya masukan (Pin) :

$$P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN} \dots\dots\dots(19)$$

$$= 15,09 \times 3,38$$

$$= 53,956 \text{ watt}$$

Perhitungan Koefisien Unjuk Kerja (COP)

$$COP = Q_C / P_{IN} \dots\dots\dots(20)$$

$$= 24,521 / 53,956$$

$$= 0,454$$

Perhitungan untuk variasi yang lain dihitung dengan cara sama dan hasilnya dapat dilihat di tabel berikut.

### 3.7 Tabel hasil perhitungan

Tabel. 12 Tabel perhitungan pada suhu lingkungan dengan variasi T = 32.5 C  
(Data dari tabel 1)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Sn <sub>ew</sub> V/K	Rn <sub>ew</sub> (Ohm)	Kn <sub>ew</sub> W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	299.357	313.614	3.39	14.257	306.485	6.103	5.675	0.030	335.328	315.203	1.412	113.648	109.390	0.299	0.054	4.466	0.302	24.521	15.915	53.956	0.454	0.00019484	10
2	299.590	312.784	3.38	13.194	306.187	6.078	5.682	0.030	334.118	315.520	1.410	113.395	109.458	0.298	0.054	4.476	0.301	24.831	15.835	53.527	0.464	0.00019363	20
3	299.512	314.082	3.38	14.570	306.797	6.118	5.680	0.030	336.013	315.414	1.414	113.791	109.435	0.299	0.054	4.485	0.301	24.362	15.957	53.974	0.452	0.00019375	30
4	300.070	313.965	3.38	13.895	307.017	6.114	5.696	0.030	335.842	316.175	1.415	113.756	109.599	0.299	0.054	4.494	0.301	24.655	15.937	53.868	0.458	0.00019379	40
5	301.531	314.429	3.38	12.898	307.980	6.128	5.740	0.030	336.523	318.180	1.422	113.898	110.028	0.300	0.054	4.516	0.302	25.163	15.957	53.975	0.467	0.00019398	50
6	301.263	314.545	3.38	13.282	307.904	6.132	5.732	0.030	336.692	317.810	1.422	113.953	109.949	0.300	0.054	4.514	0.302	25.002	15.972	53.985	0.463	0.00019397	60
7	302.082	314.545	3.37	12.463	308.313	6.132	5.756	0.030	336.692	318.940	1.424	113.953	110.190	0.300	0.054	4.536	0.302	25.300	15.959	53.782	0.470	0.0001929	70

Tabel. 13 Tabel perhitungan pada suhu lingkungan dengan variasi T = 27.1 C  
(Data dari tabel 2)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Sn <sub>ew</sub> V/K	Rn <sub>ew</sub> (Ohm)	Kn <sub>ew</sub> W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	295.975	304.945	3.48	8.971	300.460	5.842	5.575	0.030	322.922	310.637	1.370	111.057	108.405	0.293	0.053	4.224	0.304	26.514	15.175	52.811	0.502	0.00020419	10
2	295.755	305.083	3.43	9.328	300.419	5.846	5.569	0.030	323.114	310.342	1.369	111.078	108.341	0.293	0.053	4.284	0.300	25.987	15.192	52.107	0.499	0.00019836	20
3	295.767	304.985	3.42	9.218	300.376	5.843	5.569	0.030	322.978	310.359	1.369	111.049	108.344	0.293	0.053	4.296	0.299	25.949	15.182	51.924	0.500	0.0001972	30
4	295.549	305.493	3.45	9.943	300.521	5.858	5.563	0.030	323.690	310.068	1.370	111.200	108.281	0.294	0.053	4.262	0.302	25.910	15.232	52.551	0.493	0.0002007	40
5	295.549	305.356	3.46	9.807	300.453	5.854	5.563	0.030	323.498	310.068	1.369	111.159	108.281	0.293	0.053	4.248	0.303	26.030	15.229	52.660	0.494	0.00020185	50
6	295.549	304.670	3.48	9.121	300.110	5.834	5.563	0.030	322.537	310.068	1.367	110.955	108.281	0.293	0.053	4.216	0.304	26.407	15.157	52.747	0.501	0.00020413	60
7	295.472	304.945	3.46	9.474	300.209	5.842	5.560	0.030	322.922	309.964	1.368	111.057	108.259	0.293	0.053	4.243	0.303	26.128	15.183	52.525	0.497	0.00020181	70
8	295.510	306.035	3.44	10.525	300.773	5.875	5.561	0.030	324.453	310.016	1.372	111.362	108.270	0.294	0.053	4.280	0.301	25.639	15.282	52.571	0.488	0.00019958	80



Tabel. 14 Tabel perhitungan pada variasi jumlah kipas luar  
(Data dari tabel 3)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	298.057	305.493	3.5	7.436	301.775	5.858	5.637	0.030	323.890	313.438	1.379	111.200	109.010	0.294	0.053	4.228	0.307	27.463	15.183	53.178	0.516	0.000207	10
2	297.982	305.900	3.5	7.918	301.941	5.871	5.634	0.030	324.263	313.333	1.380	111.321	108.988	0.295	0.053	4.231	0.307	27.292	15.231	53.310	0.512	0.000207	20
3	297.945	305.083	3.5	7.737	301.214	5.846	5.616	0.030	323.114	312.477	1.375	111.078	108.803	0.294	0.053	4.216	0.307	27.265	15.167	53.084	0.514	0.000207	30
4	297.413	307.371	3.5	9.959	302.392	5.915	5.618	0.030	326.341	312.568	1.383	111.761	108.823	0.295	0.053	4.241	0.308	28.532	15.375	53.811	0.493	0.000207	40
5	297.021	305.629	3.5	8.608	301.325	5.863	5.606	0.030	323.881	312.040	1.376	111.240	108.709	0.294	0.053	4.218	0.307	26.931	15.222	53.276	0.505	0.000207	50
6	298.959	305.765	3.49	8.806	301.362	5.867	5.604	0.030	324.072	311.957	1.376	111.281	108.890	0.294	0.053	4.231	0.308	26.770	15.235	53.170	0.504	0.000206	60
7	298.897	306.707	3.5	9.810	301.802	5.895	5.602	0.030	325.401	311.874	1.379	111.562	108.673	0.295	0.053	4.228	0.307	26.512	15.322	53.627	0.494	0.000207	70
8	298.959	310.334	3.39	13.375	303.646	6.004	5.604	0.030	330.572	311.957	1.392	112.651	108.690	0.296	0.053	4.406	0.299	24.521	15.653	53.062	0.462	0.000194	80
9	289.193	313.965	3.3	14.772	306.579	6.114	5.670	0.030	335.842	314.973	1.412	113.756	109.342	0.299	0.054	4.593	0.294	23.683	15.951	52.639	0.450	0.000185	90
10	300.592	317.334	3.2	16.741	308.963	6.216	5.712	0.030	340.815	316.893	1.429	114.793	109.752	0.301	0.054	4.793	0.287	22.488	16.239	51.966	0.433	0.000174	100
11	304.589	319.434	3.17	14.845	312.011	6.280	5.831	0.030	343.954	322.423	1.450	115.446	110.931	0.304	0.054	4.911	0.287	23.306	16.370	51.863	0.449	0.000171	110

Tabel. 15 Tabel perhitungan pada posisi termoelektrik dengan variasi sisi dingin menempel *heat sink* tanpa perantara  
(Data dari tabel 4)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	295.975	304.945	3.48	8.971	300.460	5.842	5.575	0.030	322.922	310.637	1.370	111.037	108.405	0.293	0.053	4.224	0.304	26.514	15.175	52.811	0.502	0.00020419	10
2	295.755	305.083	3.43	9.328	300.419	5.846	5.569	0.030	323.114	310.342	1.369	111.078	108.341	0.293	0.053	4.284	0.300	25.987	15.192	52.107	0.499	0.00019836	20
3	295.767	304.985	3.42	9.218	300.376	5.843	5.569	0.030	322.978	310.359	1.369	111.019	108.344	0.293	0.053	4.296	0.299	25.949	15.182	51.924	0.500	0.0001972	30
4	295.549	305.493	3.45	9.943	300.521	5.858	5.563	0.030	323.690	310.068	1.370	111.200	108.281	0.294	0.053	4.262	0.302	25.910	15.232	52.551	0.493	0.0002007	40
5	295.549	305.356	3.46	9.807	300.453	5.854	5.563	0.030	323.498	310.068	1.369	111.159	108.281	0.293	0.053	4.245	0.303	26.030	15.220	52.660	0.494	0.00020185	50
6	295.549	304.670	3.48	9.121	300.110	5.834	5.563	0.030	322.537	310.068	1.367	110.955	108.281	0.293	0.053	4.216	0.304	26.407	15.157	52.747	0.501	0.00020413	60
7	295.472	304.945	3.46	9.474	300.209	5.842	5.560	0.030	322.922	309.964	1.368	111.037	108.259	0.293	0.053	4.242	0.303	26.128	15.183	52.525	0.497	0.00020181	70
8	295.510	306.035	3.44	10.525	300.773	5.875	5.561	0.030	324.453	310.016	1.372	111.362	108.270	0.294	0.053	4.280	0.301	25.639	15.282	52.571	0.488	0.00019958	80

Tabel. 16 Tabel perhitungan pada posisi termoelektrik dengan variasi sisi dingin menempel *cold sink* tanpa perantara  
(Data dari tabel 5)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	301.263	305.765	3.1	4.502	303.514	5.867	5.732	0.030	324.072	317.810	1.391	111.281	109.949	0.296	0.053	4.815	0.273	25.582	15.163	47.020	0.544	0.00016245	10
2	303.825	306.170	3.1	5.345	303.498	5.879	5.719	0.030	324.643	317.209	1.391	111.402	109.820	0.296	0.053	4.815	0.273	25.279	15.212	47.156	0.536	0.00016245	20
3	309.654	305.900	3.1	5.247	303.277	5.871	5.714	0.030	324.263	316.974	1.389	111.321	109.770	0.296	0.053	4.809	0.273	25.287	15.190	47.068	0.537	0.00016242	30
4	309.569	305.900	3.1	5.331	303.234	5.871	5.711	0.030	324.263	316.858	1.389	111.321	109.745	0.296	0.053	4.808	0.273	25.252	15.191	47.092	0.536	0.00016241	40
5	309.569	306.439	3.1	5.871	303.504	5.887	5.711	0.030	325.022	316.858	1.391	111.482	109.745	0.296	0.053	4.815	0.273	25.092	15.240	47.244	0.531	0.00016245	50
6	309.569	305.900	3.1	5.331	303.234	5.871	5.711	0.030	324.263	316.858	1.389	111.321	109.745	0.296	0.053	4.808	0.273	25.252	15.191	47.092	0.536	0.00016241	60
7	309.484	305.900	3.1	5.416	303.192	5.871	5.709	0.030	324.263	316.742	1.389	111.321	109.720	0.296	0.053	4.807	0.273	25.217	15.192	47.056	0.535	0.0001624	70
8	309.484	305.900	3.1	5.416	303.192	5.871	5.709	0.030	324.263	316.742	1.389	111.321	109.720	0.296	0.053	4.807	0.273	25.217	15.192	47.056	0.535	0.0001624	80

Tabel. 17 Tabel perhitungan pada arah aliran udara kipas luar dengan variasi aliran udara mendorong suhu panas *heat sink*  
(Data dari tabel 6)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	293.980	309.703	3.45	10.723	304.341	5.985	5.664	0.030	329.666	314.689	1.397	112.461	109.280	0.297	0.054	4.376	0.303	25.951	15.563	53.382	0.486	0.00019904	10
2	293.688	309.576	3.44	10.888	304.132	5.981	5.655	0.030	329.483	314.293	1.395	112.423	109.194	0.297	0.054	4.352	0.304	25.934	15.555	53.514	0.485	0.00020017	20
3	293.545	309.448	3.44	10.904	303.997	5.977	5.651	0.030	329.301	314.099	1.394	112.384	109.153	0.296	0.054	4.356	0.304	25.911	15.547	53.481	0.484	0.00020014	30
4	293.688	309.321	3.44	10.633	304.004	5.974	5.655	0.030	329.118	314.293	1.394	112.346	109.194	0.296	0.054	4.356	0.304	26.019	15.533	53.423	0.487	0.00020014	40
5	293.335	309.193	3.44	10.858	303.764	5.970	5.645	0.030	328.935	313.814	1.393	112.367	109.091	0.296	0.053	4.345	0.304	25.899	15.527	53.412	0.485	0.0002001	50
6	293.335	309.065	3.45	10.730	303.700	5.966	5.645	0.030	328.752	313.814	1.392	112.269	109.091	0.296	0.053	4.331	0.305	26.017	15.515	53.527	0.486	0.00020125	60
7	293.197	308.936	3.45	10.739	303.567	5.962	5.641	0.030	328.568	313.628	1.391	112.250	109.051	0.296	0.053	4.328	0.304	25.996	15.505	53.454	0.486	0.00020123	70

Tabel. 18 Tabel perhitungan pada arah aliran udara kipas luar dengan variasi aliran udara menghisap suhu panas *heat sink*

(Data dari tabel 7)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	299.908	308.289	3.46	8.382	304.098	5.942	5.692	0.030	327.645	315.954	1.395	112.036	109.551	0.296	0.054	4.327	0.306	27.083	15.420	53.352	0.508	0.00020249	10
2	299.204	308.678	3.48	9.474	303.941	5.954	5.671	0.030	328.200	314.995	1.394	112.153	109.345	0.296	0.054	4.295	0.307	26.780	15.463	53.822	0.498	0.00020481	20
3	298.906	308.289	3.46	9.383	303.598	5.942	5.662	0.030	327.645	314.589	1.391	112.036	109.258	0.296	0.053	4.316	0.305	26.617	15.435	53.406	0.498	0.0002024	30
4	298.688	307.767	3.47	9.079	303.227	5.927	5.655	0.030	326.902	314.293	1.389	111.879	109.194	0.296	0.053	4.296	0.306	26.767	15.391	53.406	0.501	0.0002035	40
5	298.545	307.767	3.46	9.222	303.156	5.927	5.651	0.030	326.902	314.099	1.388	111.879	109.153	0.296	0.053	4.306	0.305	26.623	15.393	53.260	0.500	0.00020232	50
6	298.616	308.159	3.47	9.543	303.387	5.939	5.653	0.030	327.460	314.195	1.390	111.997	109.173	0.296	0.053	4.295	0.306	26.602	15.428	53.525	0.497	0.00020353	60
7	298.474	308.159	3.47	9.685	303.317	5.939	5.649	0.030	327.460	314.003	1.389	111.997	109.132	0.296	0.053	4.297	0.306	26.536	15.430	53.542	0.496	0.00020352	70
8	298.404	308.028	3.48	9.624	303.216	5.935	5.647	0.030	327.274	313.908	1.389	111.957	109.112	0.296	0.053	4.287	0.307	26.624	15.419	53.659	0.496	0.00020467	80

Tabel. 19 Tabel perhitungan pada sumber arus dengan variasi sumber arus sel surya

(Data dari tabel 8)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMTH V/K	SMTC V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	298.266	309.193	3.48	10.927	303.729	5.970	5.643	0.030	328.935	313.721	1.392	112.307	109.071	0.296	0.053	4.294	0.307	26.168	15.523	54.037	0.484	0.00020477	10
2	297.239	292.374	3.43	-4.866	294.806	5.469	5.612	0.029	305.862	312.334	1.330	107.364	108.772	0.289	0.053	4.162	0.296	30.702	14.020	48.069	0.638	0.00019755	20
3	295.780	307.767	3.42	10.986	302.273	5.927	5.599	0.030	326.902	311.717	1.382	111.879	108.639	0.295	0.053	4.337	0.301	25.505	15.420	52.738	0.484	0.00019752	30
4	295.780	307.898	3.45	11.117	302.339	5.931	5.599	0.030	327.088	311.717	1.383	111.918	108.639	0.295	0.053	4.301	0.303	25.686	15.432	53.242	0.482	0.00020101	40
5	295.836	308.028	3.46	11.193	302.432	5.935	5.601	0.030	327.274	311.791	1.383	111.957	108.655	0.295	0.053	4.291	0.304	25.742	15.444	53.425	0.482	0.00020219	50
6	295.780	306.840	3.48	10.060	301.810	5.899	5.599	0.030	325.589	311.717	1.379	111.662	108.639	0.295	0.053	4.253	0.306	26.262	15.335	53.369	0.492	0.00020442	60
7	295.891	306.974	3.46	10.082	301.933	5.903	5.602	0.030	325.778	311.866	1.380	111.642	108.671	0.295	0.053	4.280	0.304	26.118	15.345	53.058	0.492	0.0002021	70
8	295.725	303.976	3.44	7.251	300.351	5.813	5.597	0.030	321.568	311.643	1.369	110.750	108.623	0.293	0.053	4.276	0.301	26.872	15.075	51.861	0.518	0.0001995	80

Tabel. 20 Tabel perhitungan pada sumber arus dengan variasi sumber arus adaptor  
(Data dari tabel 9)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMT H V/K	SMT C V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	291.269	304.116	2.07	9.847	299.192	5.817	5.525	0.030	321.762	308.364	1.361	110.791	107.911	0.292	0.053	7.055	0.181	15.461	15.125	31.312	0.494	0.00221527	10
2	293.272	304.394	2.06	11.122	298.833	5.825	5.495	0.030	322.150	307.044	1.358	110.873	107.623	0.292	0.053	7.076	0.179	15.057	15.167	31.244	0.482	0.00221841	20
3	292.600	304.532	2.07	11.932	298.566	5.830	5.476	0.030	322.343	306.159	1.356	110.914	107.429	0.292	0.053	7.032	0.180	14.917	15.190	31.443	0.474	0.00222073	30
4	292.262	304.532	2.05	12.270	298.397	5.830	5.466	0.030	322.343	305.713	1.355	110.914	107.332	0.292	0.053	7.095	0.178	14.680	15.195	31.150	0.471	0.00222224	40
5	291.066	304.532	2.06	13.466	297.799	5.830	5.431	0.030	322.343	304.151	1.351	110.914	106.989	0.292	0.053	7.036	0.179	14.423	15.213	31.339	0.460	0.00222751	50
6	291.751	304.532	2.07	12.780	298.142	5.830	5.451	0.030	322.343	305.046	1.353	110.914	107.185	0.292	0.053	7.017	0.180	14.682	15.203	31.470	0.467	0.0022245	60
7	291.581	304.532	2.07	12.951	298.056	5.830	5.446	0.030	322.343	304.823	1.353	110.914	107.136	0.292	0.053	7.014	0.180	14.635	15.205	31.475	0.465	0.00222525	70
8	291.410	304.532	2.07	13.122	297.971	5.830	5.441	0.030	322.343	304.599	1.352	110.914	107.087	0.292	0.053	7.011	0.180	14.588	15.203	31.481	0.463	0.00222601	80

Tabel. 21 Tabel perhitungan pada arus masukan dengan variasi arus 2 A dan 1 A  
(Data dari tabel 10)

No	T1 Sisi Dingin (K)	T2 Sisi panas (K)	I (A)	DT (K)	Tavg (K)	SMT H V/K	SMT C V/K	SM V/K	RMTH (Ohm)	RMTC (Ohm)	RM (Ohm)	KMTH W/K	KMTC W/K	KM W/K	Snew V/K	Rnew (Ohm)	Knew W/K	Qc Watt	Vin Volt	Pin Watt	COP	Z	Waktu (menit)
1	297.544	302.282	2.02	4.738	299.913	5.762	5.622	0.030	319.216	312.746	1.366	110.249	108.861	0.293	0.053	7.256	0.176	16.324	14.909	30.116	0.542	0.00220917	10
2	295.948	301.274	2.01	4.326	299.111	5.732	5.604	0.030	317.827	311.942	1.360	109.952	108.687	0.292	0.053	7.262	0.175	16.271	14.827	29.802	0.546	0.00221704	20
3	295.780	302.139	2.02	5.359	299.460	5.758	5.599	0.030	319.018	311.717	1.363	110.207	108.639	0.293	0.053	7.235	0.176	16.143	14.903	30.114	0.536	0.00221353	30
4	295.780	303.135	2.03	6.354	299.957	5.788	5.599	0.030	320.397	311.717	1.366	110.501	108.639	0.293	0.053	7.222	0.177	16.033	14.993	30.447	0.527	0.00220851	40
5	295.891	302.993	1.98	6.102	299.942	5.784	5.602	0.030	320.201	311.866	1.366	110.459	108.671	0.293	0.053	7.404	0.173	15.694	14.984	29.668	0.529	0.0022087	50
6	295.780	302.993	1.98	6.213	299.887	5.784	5.599	0.030	320.201	311.717	1.366	110.459	108.639	0.293	0.053	7.402	0.173	15.665	14.986	29.671	0.528	0.00220923	60
7	295.780	301.419	1.98	4.639	299.100	5.737	5.599	0.030	318.026	311.717	1.360	109.955	108.639	0.292	0.053	7.372	0.173	15.957	14.843	29.368	0.543	0.00221712	70

Tabel. 22 Tabel perhitungan pada arus masukan dengan variasi arus 3 A.  
(Data dari tabel 11)

No	T1	T2	I	DT	Tavg	SMTH	SMTC	SM	RMTH	RMTC	RM	KMTH	KMTC	KM	Snew	Rnew	Knew	Qc	Vin	Pin	COP	Z	Waktu
	Sisi Dingin (K)	Sisi panas (K)	(A)	(K)	(K)	V/K	V/K	V/K	(Ohm)	(Ohm)	(Ohm)	W/K	W/K	W/K	V/K	(Ohm)	W/K	Watt	Volt	Watt			(menit)
1	297.971	298.617	3.05	0.646	298.294	5.653	5.634	0.030	314.197	313.322	1.354	109.174	108.985	0.292	0.053	4.76e	0.265	25.863	14.570	44.429	0.582	0.00272511	0
2	293.439	306.974	3.04	13.535	300.206	5.903	5.500	0.030	325.778	307.265	1.368	111.642	107.671	0.293	0.053	4.82e	0.266	21.542	15.409	46.815	0.460	0.00270426	10
3	293.104	307.239	3.05	14.135	300.172	5.911	5.491	0.030	326.154	306.824	1.368	111.721	107.575	0.293	0.053	4.812	0.267	21.399	15.429	47.058	0.455	0.00272044	20
4	292.768	307.503	3.05	14.735	300.136	5.919	5.481	0.030	326.528	306.381	1.367	111.800	107.478	0.293	0.053	4.811	0.267	21.185	15.458	47.147	0.449	0.00270453	30
5	292.768	307.503	3.05	14.735	300.136	5.919	5.481	0.030	326.528	306.381	1.367	111.800	107.478	0.293	0.053	4.811	0.267	21.185	15.458	47.147	0.449	0.00270453	40
6	292.768	307.503	3.05	14.735	300.136	5.919	5.481	0.030	326.528	306.381	1.367	111.800	107.478	0.293	0.053	4.811	0.267	21.185	15.458	47.147	0.449	0.00270453	50
7	292.600	307.503	3.05	14.904	300.052	5.919	5.476	0.030	326.528	306.159	1.367	111.800	107.429	0.293	0.053	4.809	0.267	21.116	15.461	47.155	0.448	0.00272053	60
8	292.600	307.503	3.05	14.904	300.052	5.919	5.476	0.030	326.528	306.159	1.367	111.800	107.429	0.293	0.053	4.809	0.267	21.116	15.461	47.155	0.448	0.00272053	70
9	292.431	307.503	3.05	15.073	299.967	5.919	5.471	0.030	326.528	305.937	1.366	111.800	107.381	0.293	0.053	4.807	0.267	21.047	15.463	47.163	0.446	0.00270607	80

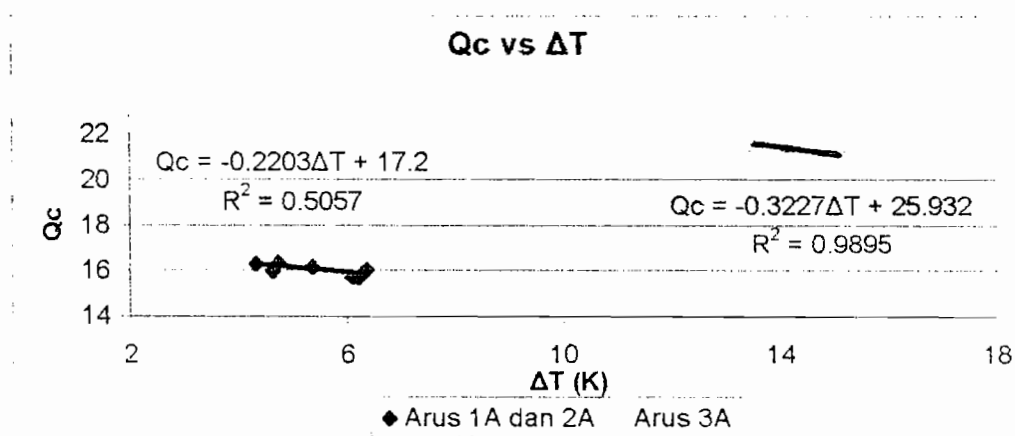
#### 4.4 Grafik Hasil Penelitian

Dari penelitian karakteristik modul termoelektrik dengan jumlah semikonduktor 127 pasang dan arus maksimum ( $I_{MAX}$ ) 6 amper didapatkan hasil sebagai berikut :

##### 4.4.1 Variasi arus masukan

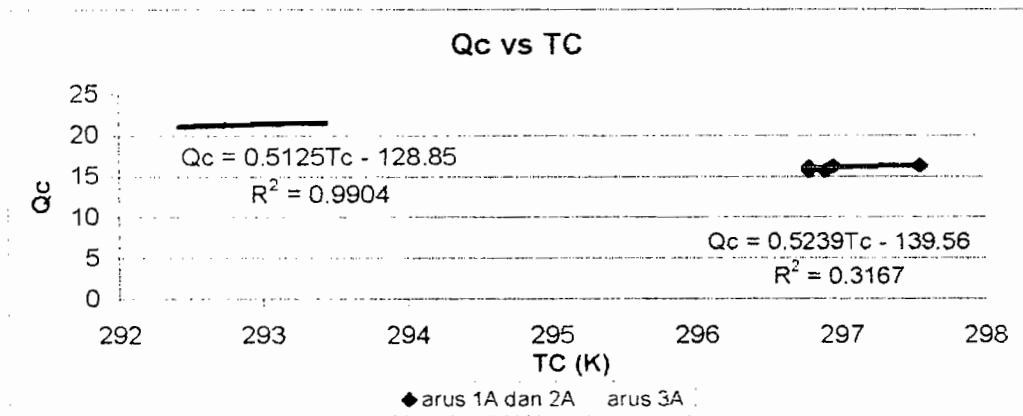
Dari perhitungan tabel. 10 dan tabel. 11 variasi arus masukan

*Hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan beda temperatur ( $\Delta T$ )*



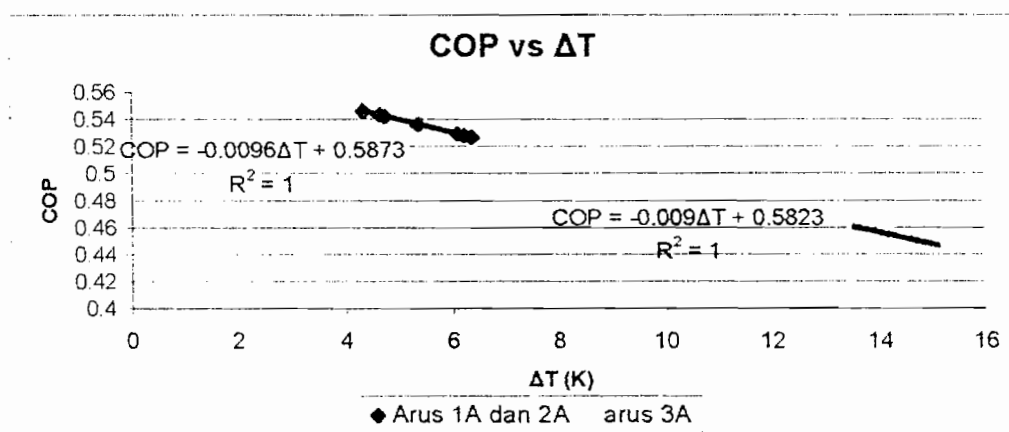
Gambar 6. Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi arus masukan

Hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ )



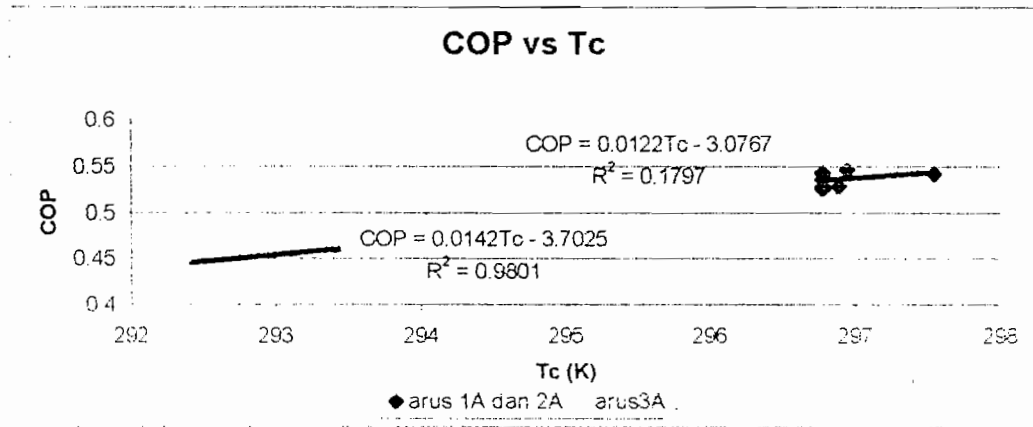
Gambar 7. Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) pada variasi arus masukan

Hubungan unjuk kerja (COP) dan beda temperatur ( $\Delta T$ )



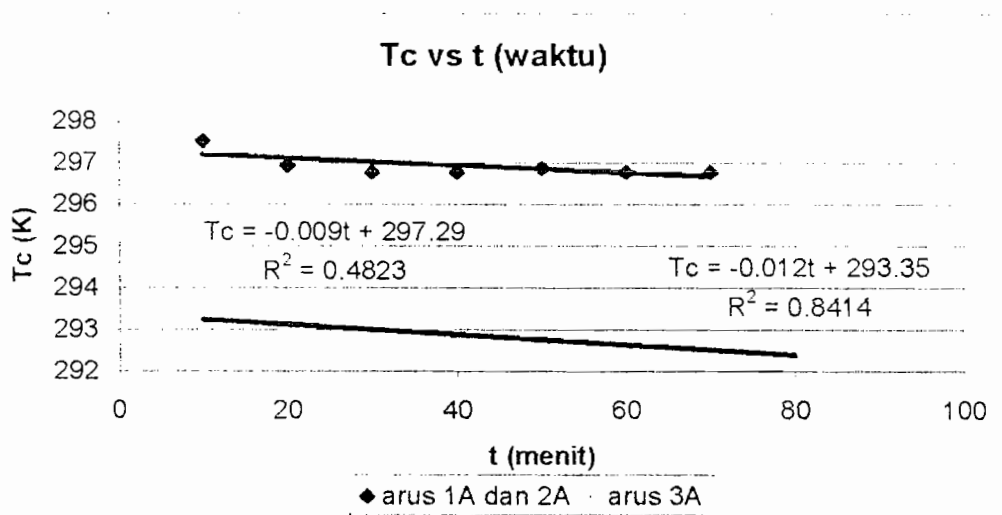
Gambar 8. Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi arus masukan

Hubungan unjuk kerja (COP) dan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>)



Gambar 9. Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>) pada variasi arus masukan

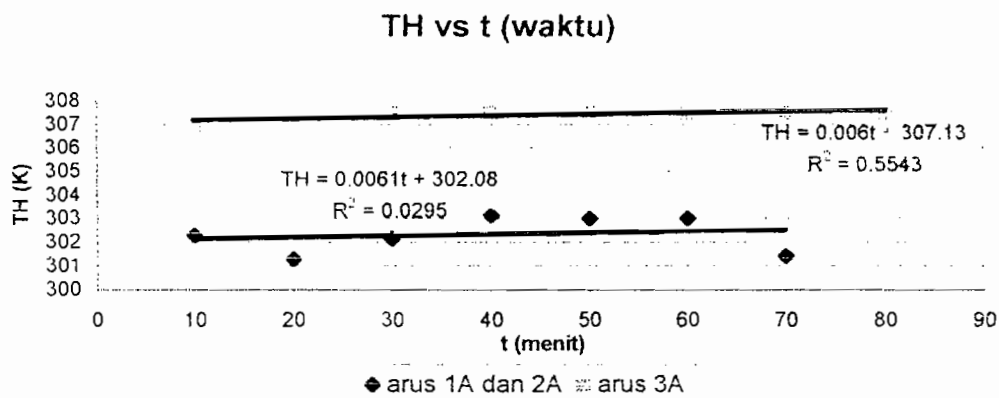
Hubungan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>) dan waktu



Gambar 10. Grafik hubungan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>) dan waktu pada variasi arus masukan

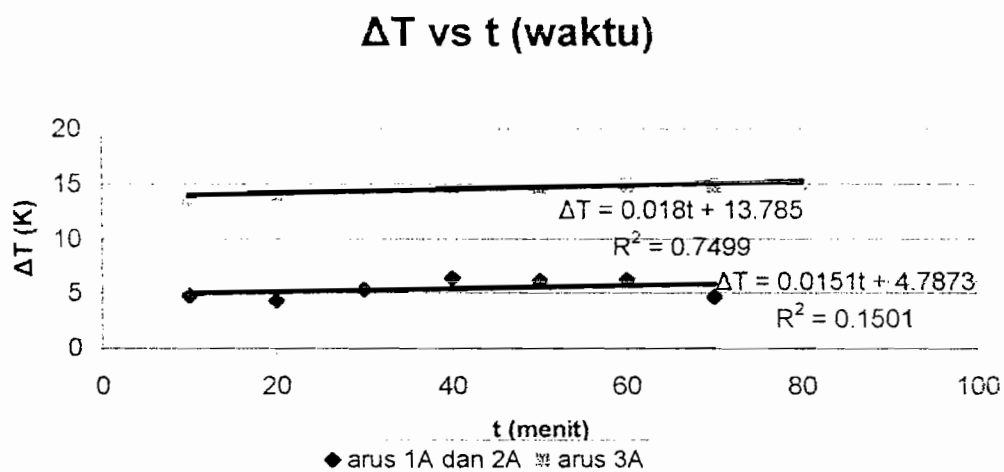


Hubungan sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) dan waktu



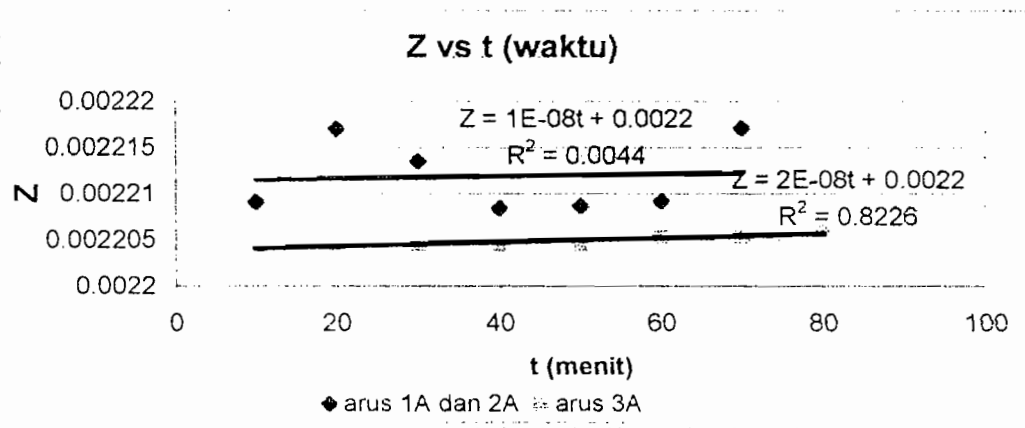
Gambar. 11 Grafik hubungan sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) dan waktu pada variasi arus masukan

Hubungan beda temperatur ( $\Delta T$ ) dan waktu



Gambar 12. Grafik hubungan beda temperatur ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi arus masukan

Hubungan unjuk kerja keseluruhan (Z) dan waktu

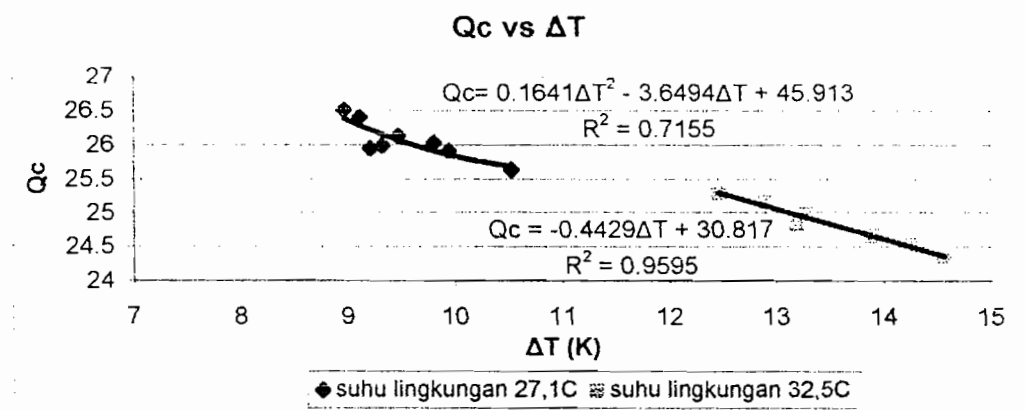


Gambar 13. Grafik hubungan unjuk kerja keseluruhan (Z) dan waktu pada variasi arus masukan

#### 4.4.2 Variasi suhu lingkungan

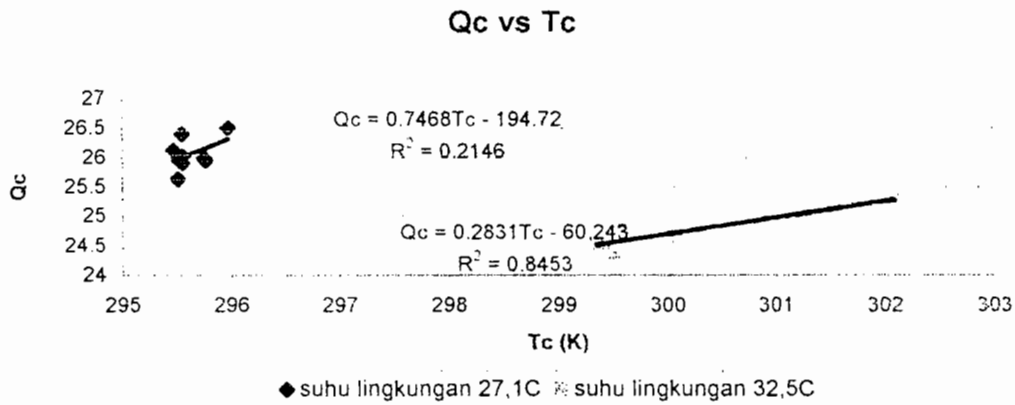
Dari perhitungan pada tabel.1 dan tabel.2 variasi suhu lingkungan

Hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan beda temperatur ( $\Delta T$ )



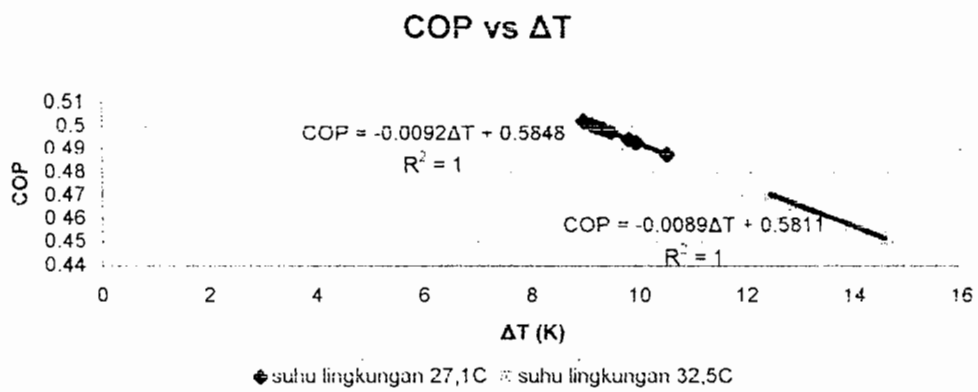
Gambar 14. Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan

Hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ )



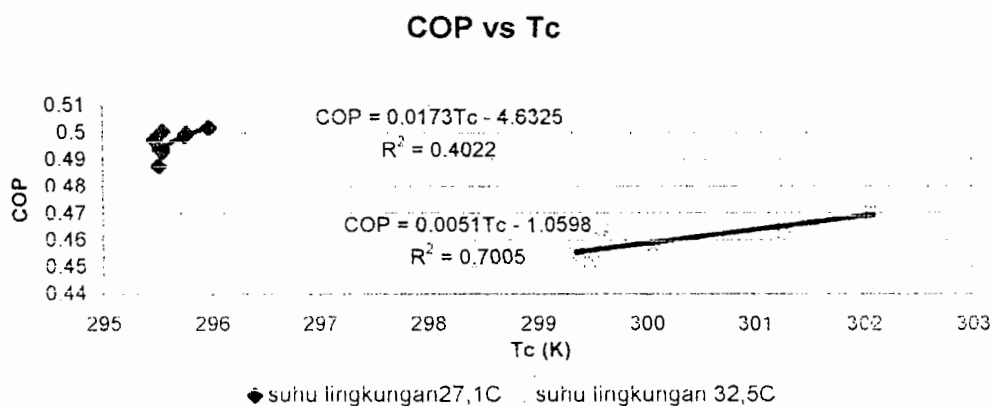
Gambar 15. Grafik hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) pada variasi suhu lingkungan

Hubungan unjuk kerja (COP) dan beda temperatur ( $\Delta T$ )



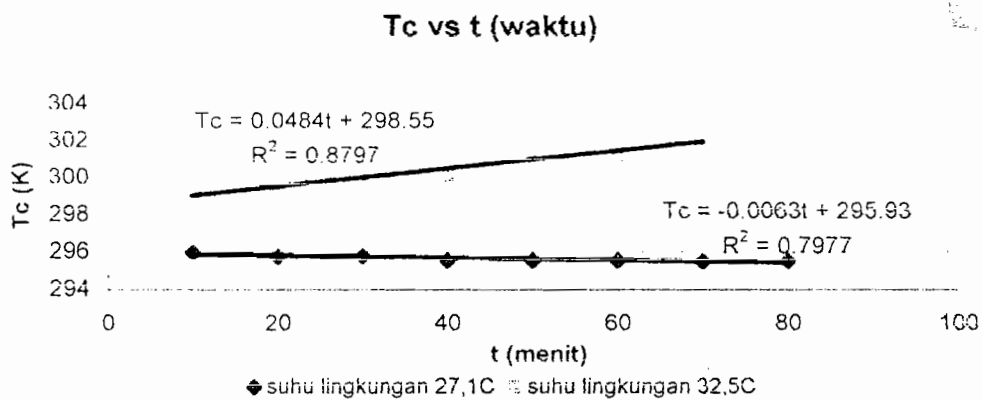
Gambar 16. Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan beda temperatur ( $\Delta T$ ) pada variasi suhu lingkungan

Hubungan unjuk kerja (COP) dan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>)



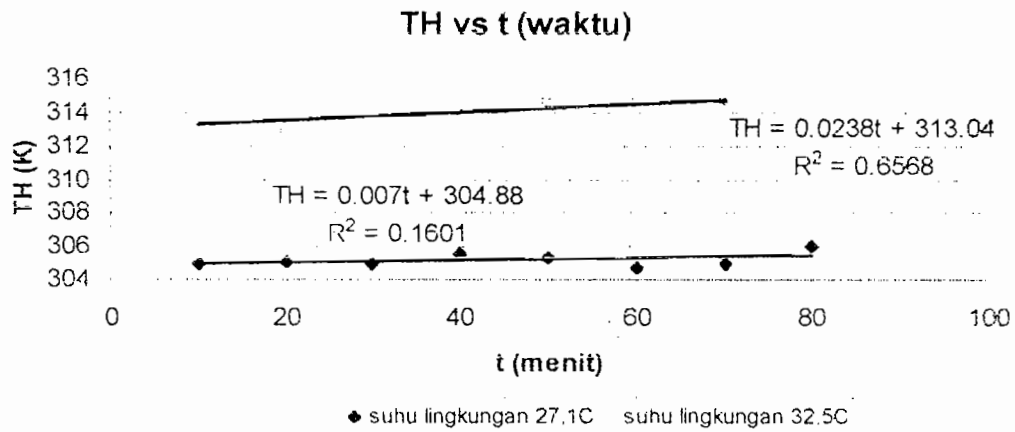
Gambar 17. Grafik hubungan unjuk kerja (COP) dan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>) pada variasi suhu lingkungan

Hubungan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>) dan waktu



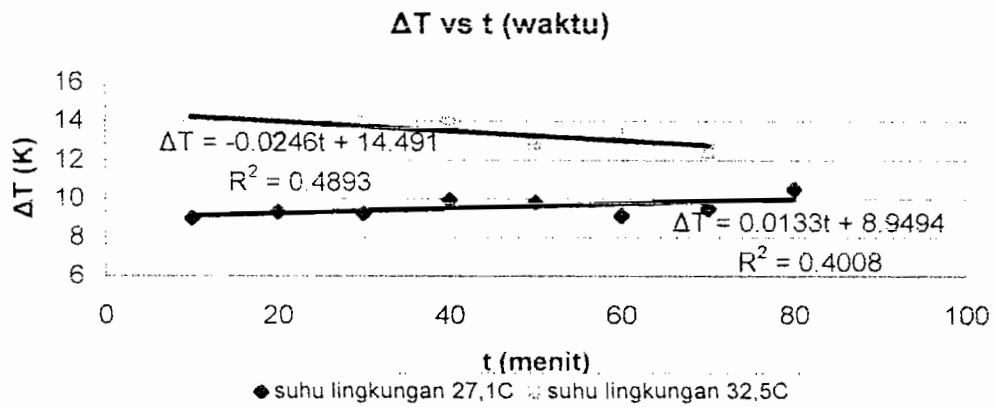
Gambar 18. Grafik hubungan sisi dingin termoelektrik (T<sub>c</sub>) dan waktu pada variasi suhu lingkungan

Hubungan sisi panas termoelektrik ( $T_{ij}$ ) dan waktu



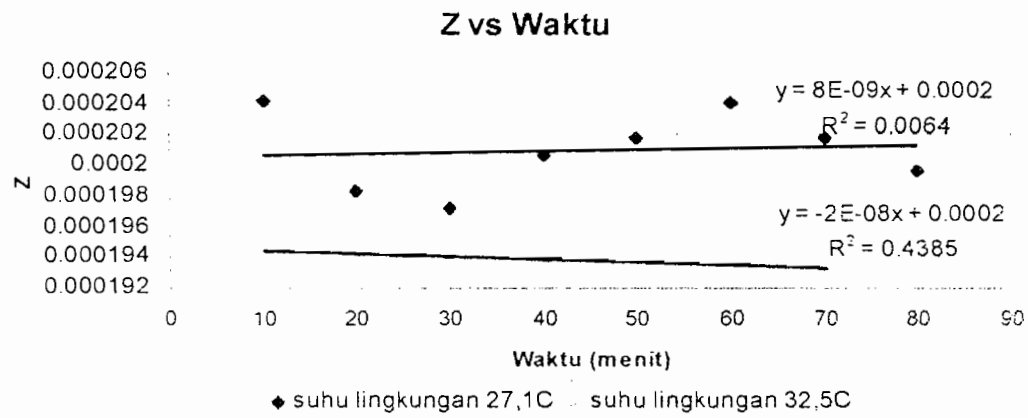
Gambar 19. Grafik hubungan sisi panas termoelektrik ( $T_{ij}$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan

Hubungan beda temperatur ( $\Delta T$ ) dan waktu



Gambar 20. Grafik hubungan beda temperatur ( $\Delta T$ ) dan waktu pada variasi suhu lingkungan

*Hubungan unjuk kerja keseluruhan (Z) dan waktu*



Gambar. 21 Grafik hubungan unjuk kerja keseluruhan (Z) dan waktu pada variasi suhu lingkungan

#### 4.5 Analisa

1. Pada Gambar 6, 13 menunjukkan bahwa semakin besar beda temperatur sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) maka kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) atau yang berarti panas yang dipompa oleh modul termoelektrik pada sisi dingin akan turun. Sama halnya dengan Gambar 8 dan 15 yang menunjukkan hubungan unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ). Semakin kecil beda temperatur sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) maka unjuk kerja (COP) yang harus dilakukan modul termoelektrik sebagai pendingin akan semakin besar. Unjuk kerja (COP) termoelektrik sangat tergantung pada besar kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan masukan daya listrik ( $P_{in}$ ). Semakin besar kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) maka semakin besar pula unjuk kerja (COP) termoelektrik sebagai pendingin.
  2. Pada Gambar 7, 14 yang menunjukkan hubungan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan temperatur sisi dingin termoelektrik, menggambarkan bahwa semakin tinggi suhu sisi dingin termoelektrik maka semakin besar kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ). Semakin tingginya temperatur sisi dingin termoelektrik berarti semakin kecil beda temperatur dengan sisi panas termoelektrik.
- Sama halnya pada Gambar 9 dan 16 yang menunjukkan hubungan unjuk kerja (COP) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ). Yang menggambarkan bahwa semakin tinggi temperatur sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) maka semakin besar pula unjuk kerja (COP) termoelektrik sebagai pendingin.

3. Pada Gambar 10 dan 17 yang menunjukkan hubungan temperatur sisi dingin ( $T_c$ ) dan waktu, menggambarkan bahwa semakin lama temperatur sisi dingin termoelektrik akan semakin rendah.

Tetapi gejala lain ditunjukkan pada Gambar 17 pada variasi suhu lingkungan justru semakin lama sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) akan semakin naik ini berarti sistem pada termoelektrik sangat tergantung pada suhu lingkungan, juga karena faktor pembuangan panas pada sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) menggunakan kipas atau memanfaatkan udara sekitar jadi jika temperatur udara sekitar sama tinggi dengan temperatur sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) maka pembuangan panas pada sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) melalui heat sink akan tidak efektif.

4. Pada Gambar 11 dan 17 yang menunjukkan sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) akan semakin lama semakin tinggi temperaturnya.

Begitu juga pada Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin lama beda temperatur sisi panas dingin termoelektrik ( $T_c$ ) dan sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) akan semakin besar. Tetapi pada Gambar 19 pada variasi suhu lingkungan  $T = 32,5^{\circ}\text{C}$  menunjukkan perbedaan temperatur sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) dan sisi panas termoelektrik justru semakin kecil berarti memang faktor suhu lingkungan sangat berpengaruh pada sistem termoelektrik ini yaitu pada pembuangan panas pada sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) melalui heat sink.



5. Gambar 12 dan 20 menunjukkan hubungan unjuk kerja keseluruhan termoelektrik ( $Z$ ) dengan waktu. Bahwa semakin lama unjuk kerja keseluruhan ( $Z$ ) akan semakin besar. Unjuk kerja keseluruhan modul termoelektrik ini dipengaruhi juga bahan semikonduktor dan temperaturnya.

Tetapi pada Gambar 20 variasi suhu lingkungan  $T = 32,5^{\circ}\text{C}$  menunjukkan semakin lama waktu berjalan semakin kecil unjuk kerja keseluruhan termoelektrik ini semakin menunjukkan ketidakefisien pembuangan panas sangat mempengaruhi kinerja termoelektrik.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Jika beda temperatur ( $\Delta T$ ) sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) naik maka kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) akan turun.
2. Jika beda temperatur ( $\Delta T$ ) sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) naik maka unjuk kerja (COP) akan turun.
3. Jika temperatur sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) naik maka koefisien unjuk kerja (COP) akan naik juga.
4. Jika temperatur sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) naik maka kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) akan naik juga.
5. Jika temperatur sisi panas termoelektrik naik ( $T_H$ ) maka koefisien unjuk kerja (COP) akan turun
6. Jika temperatur sisi panas termoelektrik naik ( $T_H$ ) maka kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) akan turun.

#### **5.2 Saran**

Untuk mendapatkan kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) dan koefisien unjuk kerja (COP) yang maksimal maka beda temperatur sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) harus dibuat sekecil mungkin. Misal dengan membuat pendinginan pada sisi panas termoelektrik lebih efisien sehingga beda

temperatur sisi panas termoelektrik ( $T_H$ ) dan sisi dingin termoelektrik ( $T_c$ ) menjadi kecil.

### **5.3 Penutup**

Demikian Tugas Akhir ini saya buat. Penulis akan sangat terbuka menerima kritik dan saran yang membangun untuk kemajuan penulis di kemudian hari.

Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna bagi pembaca dan demi perkembangan teknologi khususnya dibidang teknik mesin.

## DAFTAR PUSTAKA

Buist R.J, A Simplified Method for Thermoelectric Heat Pump Optimization, Third International Conference on thermoelectric Energy Conversion, Arlington-Texas: 1980

Buist R.J, Universal Thermoelectric Design Curves, 15<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Seattle-Washington: 1980

Janson. Ted. J, *Teknologi Tenaga Surya*. PT Pradnya Paramita Jakarta-Indonesia: 1995

Voigt R. Buku *Pelajaran Teknologi Farmasi*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta-Indonesia: 1994



**UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI**  
**TANGGAL : 15 Oktober 2005**

NAMA Mhs. : Emmanuel Vivin Susatyo

NIM : 995214140

JUDUL :

*Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik pada kotak pendingin obat*

Pembimbing Utama : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Pembimbing Kedua :

**USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI**

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

1. Format tulisan di perbaiki
2. Judul Dahulu Tjggris ada / disertakan
3. Halaman persembahkan dibilalagka (cover format yg resmi)
4. Kata pengantar dibuat yg resmi.
5. Grafel - grafik di perbaiki
6. Liket perbaikan? pada buku skripsi saudara.
- 7.

