

KARAKTERISTIK MODUL PENDINGIN TERMOELEKTRIK PADA PENDINGIN AIR

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin

Jurusan Teknik Mesin



Diajukan oleh :

Albert Iwan Sumantri

99 5214 050

Kepada

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

2005

**CHARAKTERISTICS OF THERMOELECTRIC- COOLER
MODUL IN WATER COOLER**

FINAL PROJECT

**Presented as Partial Fulfillment of The Obtain The Sarjana Teknik Degree in
Mechanical Engeneering**



By

Albert. Iwan Sumantri

Student Number: 995214050

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA
2005**



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III Paingan, Maguwoharjo, Sleman, Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 883969, 886530; Fax (0274) 886529
Email : teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR/SKRIPSI PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No : 596/TA/FT.USD/TM/September/2005

Nama : Albert Iwan Sumantri
NIM : 995214050
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta
Judul TGA : Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik pada
Pendingin Air
Tanggal mulai : 15 Mei 2005

Yogyakarta, 27 September 2005

Pembimbing

Ir. F.A. Rusdi Sambada, M.T.

**KARAKTERISTIK MODUL PENDINGIN TERMOELEKTRIK
PADA PENDINGIN AIR**

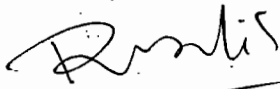
Disusun oleh :

Nama : Albert. Iwan sumantri

NIM : 995214050

Telah disetujui oleh:

Pembimbing



Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Tanggal.....

TUGAS AKHIR
KARAKTERISTIK MODUL PENDINGIN TERMoeLEKTRIK
PADA PENDINGIN AIR

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

Nama : Albert Iwan Sumantri

NIM : 995214050

Telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji

Pada tanggal 13 Oktober 2005

Susunan Dewan Penguji

Nama

Ketua

Ir. YB. Lukiyanto, M.T.

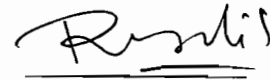
Sekretaris

Ir. Fx. Agus Unggul Santoso

Anggota

Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Tanda Tangan



Tugas Akhir ini telah diterima sebagai
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Mesin

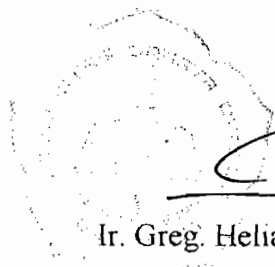
Yogyakarta, Oktober 2005

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan



Ir. Greg. Heliarko, S.J., SS., B.ST., MA., M.Sc.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir merupakan salah satu syarat yang mesti ditempuh untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan, saran, dorongan sehingga Tugas Akhir ini selesai, kepada:

1. Romo Ir. Greg. Heliarko, S.J., SS., B.ST., MA.,M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Ir. F.A. Rusdi Sambada, M.T, selaku Dosen pembimbing.
3. Segenap Dosen, Karyawan & seluruh Civitas Sanata Dharma Yogyakarta.
4. Seluruh teman-teman angkatan 99 Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta dan semua pihak yang telah membantu penulis dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa karya ini jauh dari sempurna, untuk itu penulis mohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan naskah ini. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, Oktober 2005

Penulis

Albert Iwan Sumantri

Halaman Persembahan

Dengan segala ketulusan dan penuh suka rela karya ini kupersembahkan teruntuk:

- Ayahanda A. Bikir Siswoyo & Ibunda R. Suprihatin.
- Keluarga K. Saimin
- Istri tercinta Chatarina Hariyani & Kedua Puteraku J I Paul & Casvilla Fajar Satriatama.
- Seluruh Kakak dan Mbakku.

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa dalam 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 yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Oktober 2005

Penulis

Albert Iwan Sumantri



DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Soal	ii
Halaman Pengesahan.....	iii
Halaman Pernyataan.....	iv
Halaman Persembahan	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	xii
Intisari.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Tinjauan Umum	1
1.2. Latar Belakang.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
BAB II DASAR TEORI	6
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1. Peralatan Penelitian	12
3.2. Peralatan yang Digunakan pada Penelitian	13
3.3. Langkah Pengambilan dan Pengolahan Data	13
3.4. Langkah Penelitian	14

3.5. Parameter yang Dihitung	17
BAB IV HASIL PENGAMBILAN DATA	19
BAB V ANALISA PENELITIAN	29
5.1 Perhitungan dari Pengambilan Data.....	29
5.2 Grafik Karakteristik Modul Termoelektrik.....	40
5.3 Analisa Data	57
BAB VI PENUTUP	59
6.1 Kesimpulan.....	59
6.2 Saran	60
6.3 Penutup	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN-LAMPIRAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Susunan Modul Termoelektrik	2
Gambar 2. Sistem-sistem Pendingin Surya.....	6
Gambar 3. Modul termoelekttik pada Proses Pendinginan	11
Gambar 4. Skema atas Penelitian	12
Gambar 5. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan beda temperatur sisi panas sisi dingin (ΔT) pada Variasi T air.....	40
Gambar 6. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan beda temperatur sisi panas sisi dingin (ΔT) pada Variasi Arus Listrik	40
Gambar 7. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan beda temperatur sisi panas sisi dingin (ΔT) pada Variasi Penggunaan Solar Sel.....	41
Gambar 8. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan beda temperatur sisi panas Variasi T lingkungan.....	41
Gambar 9. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada panas T air.....	42
Gambar 10. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada Variasi Arus Listrik.....	42
Gambar 11. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada Variasi Menggunakan Solar Sel.....	43
Gambar 12. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada Variasi T lingkungan.....	43
Gambar 13. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada Variasi T air	44
Gambar 14. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada Variasi Arus Listrik.....	44
Gambar 15. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada Variasi Menggunakan Solar Sel.....	45
Gambar 16. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_C) dan Temperatur sisi dingin (T_C) pada Variasi T lingkungan.....	45

Gambar 17. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur Sisi Pans - Sisi Dingin (ΔT) pada Variasi T air	46
Gambar 18. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur Sisi Pans - Sisi Dingin (ΔT) pada Variasi Arus Listrik.....	46
Gambar 19. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur Sisi Pans - Sisi Dingin (ΔT) pada Variasi Menggunakan Solar Sel	47
Gambar 20. Grafik Hubungan Koefisien Unjuk Kerja (COP) dan Temperatur Sisi Pans - Sisi Dingin (ΔT) pada Variasi T lingkungan	47
Gambar 21. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Dingin (T_C) dan Waktu (t) pada Variasi T air	48
Gambar 22. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Dingin (T_C) dan Waktu (t) pada Variasi Arus Listrik.....	48
Gambar 23. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Dingin (T_C) dan Waktu (t) pada Variasi Menggunakan Solar Sel	49
Gambar 24. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Dingin (T_C) dan Waktu (t) pada Variasi T lingkungan	49
Gambar 25. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Panas (T_H) dan Waktu (t) pada Variasi T air	50
Gambar 26. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Panas (T_H) dan Waktu (t) pada Variasi Arus Listrik.....	50
Gambar 27. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Panas (T_H) dan Waktu (t) pada Variasi Menggunakan Solar Sel	51
Gambar 28. Grafik Hubungan Temperatur Sisi Panas (T_H) dan Waktu (t) pada Variasi T Lingkungan	51
Gambar 29. Grafik Hubungan Beda Temperatur Sisi Panas – Sisi Dingin (ΔT) dan Waktu (t) pada Variasi T air	52
Gambar 30. Grafik Hubungan Beda Temperatur Sisi Panas – Sisi Dingin (ΔT) dan Waktu (t) pada Variasi Arus Listrik.....	52
Gambar 31. Grafik Hubungan Beda Temperatur Sisi Panas – Sisi Dingin (ΔT) dan Waktu (t) pada Variasi Menggunakan Solar Sel.....	53
Gambar 32. Grafik Hubungan Beda Temperatur Sisi Panas – Sisi Dingin (ΔT) dan Waktu (t) pada Variasi T lingkungan.....	53

Gambar 33. Grafik Hubungan Figur of Rent (Z) dan Waktu (t) pada Variasi T air	54
Gambar 34. Grafik Hubungan Figur of Rent (Z) dan Waktu (t) pada Variasi Arus Listrik.....	54
Gambar 35. Grafik Hubungan Figur of Rent (Z) dan Waktu (t) pada Variasi Menggunakan Solar Sel.....	55
Gambar 36. Grafik Hubungan Figur of Rent (Z) dan Waktu (t) pada Variasi T lingkungan.....	55
Gambar 37. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_c), Q aktual, Temperatur Sisi Dingin (T_c) pada Variasi T air dengan T air = 26,9°C.....	56
Gambar 37. Grafik Hubungan Kapasitas Pendinginan (Q_c), Q aktual, Temperatur Sisi Dingin (T_c) pada Variasi Menggunakan Solar Sel dengan T lingkungan = 30°C.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T air Mula-mula = 26,9°C	19
Tabel 2.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T air Mula-mula = 29° C.	20
Tabel 3.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T air Mula-mula = 32° C.	21
Tabel 4.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T air Mula-mula = 34° C.	21
Tabel 5.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T air Mula-mula = 54° C.	22
Tabel 6.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi Arus Listrik = 1,15 A.....	23
Tabel 7.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi Arus Listrik = 2,33 A.....	23
Tabel 8.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi Arus Listrik = 4,5 A.....	24
Tabel 9.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi Menggunakan Solar dengan T lingkungan = 30° C.....	25
Tabel 10.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi Menggunakan Solar dengan T lingkungan = 28° C.....	25
Tabel 11.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T lingkungan = 30° C.....	26
Tabel 12.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T lingkungan = 31,5° C...	27
Tabel 13.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T lingkungan = 33° C.....	27
Tabel 14.	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Variasi T lingkungan = 35,2° C...	28
Tabel 15.	Tabel Penghitungan pada Variasi T air dengan T air = 26,9° C.....	36
Tabel 16.	Tabel Penghitungan pada Variasi T air dengan T air = 29° C.....	36
Tabel 17.	Tabel Penghitungan pada Variasi T air dengan T air = 32° C.....	36
Tabel 18.	Tabel Penghitungan pada Variasi T air dengan T air = 34° C.....	36
Tabel 19.	Tabel Penghitungan pada Variasi T air dengan T air = 54° C.....	37
Tabel 20.	Tabel Penghitungan pada Variasi Arus Listrik dengan I = 1,15 A.....	37
Tabel 21.	Tabel Penghitungan pada Variasi Arus Listrik dengan I = 2,33 A.....	37
Tabel 22.	Tabel Penghitungan pada Variasi Arus Listrik dengan I = 4,5 A.....	37

Tabel 23. Tabel Penghitungan pada Variasi Menggunakan Solar Sel dengan T lingkungan = 30° C	38
Tabel 24. Tabel Penghitungan pada Variasi Menggunakan Solar Sel dengan T lingkungan = 28° C	38
Tabel 25. Tabel Penghitungan pada Variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 30° C	38
Tabel 26. Tabel Penghitungan pada Variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 31,5° C	38
Tabel 27. Tabel Penghitungan pada Variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 33° C	39
Tabel 28. Tabel Penghitungan pada Variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 35,2° C	39

INTISARI

Pendinginan sangat diperlukan untuk berbagai kebutuhan. Tujuan pendinginan sendiri antara lain supaya bahan makanan atau minuman, vaksin dan bahan lainnya tidak lekas rusak atau busuk. Kebanyakan pendingin yang digunakan saat ini bekerja dengan sistem kompresi uap dan biasanya menggunakan refrijeran sintetis seperti R-11, R-12, R-22, R-134a, dan R-502. Refrijeran ini mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan, sebab dapat merusak ozon dan menimbulkan pemanasan global. Sehingga dilakukan penelitian untuk mencari sistem pendingin alternatif yang tidak menggunakan refrijeran sintetis, salah satunya dengan termoelektrik. Termoelektrik adalah cara perpindahan kalor padat melalui material semikonduktor yang berbeda (tipe n dan tipe p) yang jika dialiri arus listrik maka kalor akan diserap sisi dingin dan dialirkan ke sisi panas.

Keuntungan dari sistem ini antara lain ramah lingkungan, tidak berisik, murah, mudah dalam perawatan, ringan, mudah dalam pengoprasian dan suhu dapat terkontrol secara tepat, berumur panjang ± 250.000 jam dan dapat menggunakan solar sel sebagai sumber arus.

Dalam penelitian tentang karakteristik modul termoelektrik pada pendingin air menggunakan *dispenser* (pendingin air minum) yang menggunakan termoelektrik seri TEC1-12706 dengan $I_{max} = 6$ A, $V_{max} = 14,9$ V, temperatur normal $15-8^{\circ}\text{C}$ /jam dengan kapasitas 0,5 liter air. Cara penelitian dengan cara memvariasikan temperatur air, arus masuk, menggunakan solar sel dengan variasi T lingkungan, T lingkungan.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa semakin naik beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) maka kapasitas pendinginan (Q_c) dan koefisien unjuk kerja (COP) akan turun. Semakin naik temperatur sisi dingin (T_c) maka kapasitas pendinginan (Q_c) dan koefisien unjuk kerja (COP) akan naik juga. Semakin bertambah waktu (t) maka Temperatur sisi dingin (T_c), temperatur sisi panas, kapasitas pendinginan (Q_c), Q_{actual} dan temperatur air (T_{air}) akan turun. Semakin bertambah waktu (t) maka beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT), *figur of merit* (Z) akan naik. Dan untuk menghasilkan kapasitas pendinginan (Q_c) dan koefisien unjuk kerja (COP) yang maksimal maka beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) dibuat sekecil mungkin misalnya dengan menambah sistem pendingin pada sisi panas.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

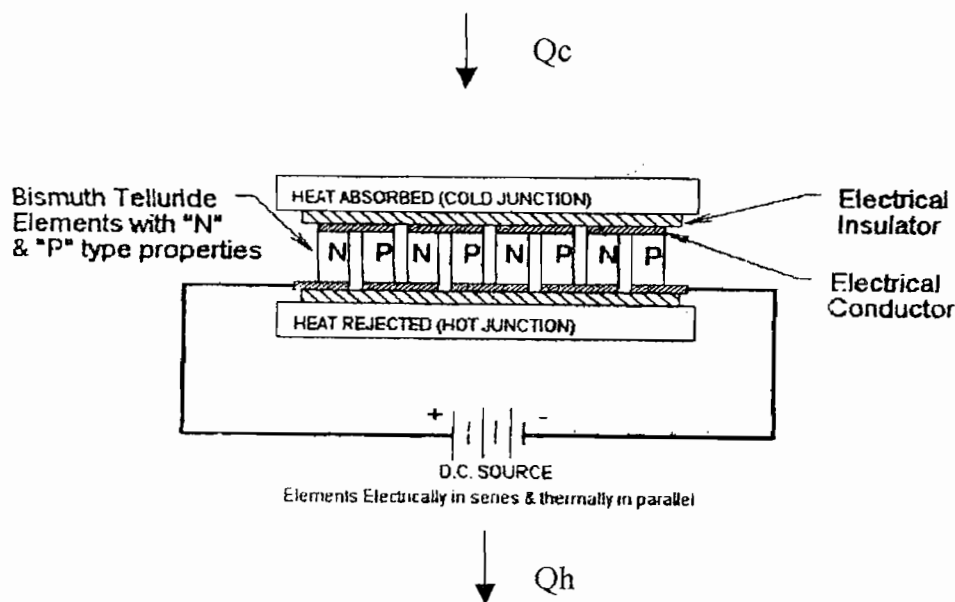
Di era yang maju ini energi surya sangat menjanjikan untuk dikembangkan. Telah banyak negara-negara yang berkembang terutama di negara yang beriklim tropis memanfaatkan energi surya, sebab energi ini dapat dijadikan sebagai energi atau bahan bakar alternatif selain minyak bumi dan gas bumi.

Disetiap negara pendinginan sangat diperlukan untuk berbagai kebutuhan penunjang industri, kebutuhan rumah tangga ataupun kesehatan. Tujuan dari pendinginan dilakukan antara lain supaya bahan makanan, minuman, obat, vaksin atau bahan lain tidak lekas busuk atau rusak. Kebanyakan pendingin yang digunakan saat ini bekerja dengan sistem kompresi uap. Sistem ini biasanya menggunakan refrijeran sintetis seperti : R-11, R-12, R-22, R-134a, dan R-502.

Refrijeran sintetis ini mempunyai dampak negatif pada lingkungan karena dapat merusak lapisan ozon sehingga dapat menimbulkan pemanasan global. Banyak penelitian yang dilakukan untuk mencari sistem pendingin yang tidak menggunakan refrijeran sintetis, dan salah satu alternatifnya menggunakan termoelektrik. Termoelektrik adalah cara perpindahan kalor padat melalui material semikonduktor yang berbeda (tipe n dan tipe p). Jika semikonduktor ini

dialiri arus maka kalor akan terserap pada satu sisi (sisi dingin) dan dialirkan ke sisi lain (sisi panas).

Elemen semikonduktor pada modul termoelektrik (tipe n dan tipe p) terhubung seri secara listrik dan terhubung parallel secara termal (gambar 1). 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 penuka kalor (*heat sink*).



Gambar 1. Susunan modul termoelektrik

Beberapa keuntungan dari termoelektrik antara lain yaitu :

- a. Ramah lingkungan
- b. Tidak berisik

- c. Murah dan perawatan mudah
- d. Ukuran kecil dan ringan
- e. Mudah dioperasikan dan suhu dapat terkontrol secara tepat.
- f. Kapasitas pendinginan dapat diatur secara mudah dengan mengatur besar arus yang dialirkan ke termoelektrik.
- g. Dapat menjadi pemanas jika arah arus listrik dibalik.
- h. Umur pemakaiannya panjang (± 250.000 jam)
- i. Dapat menggunakan energi surya dengan solar sel.

Sistem ini sangat sesuai dengan kondisi Indonesia karena dapat menggunakan sumber matahari / *accu* sehingga daerah yang belum ada jaringan listrik pun dapat menggunakannya. Saat ini termoelektrik banyak dipakai pada beberapa alat rumah tangga seperti pendingin air minum, pendingin makanan, elektronik, dll).

Pada tugas akhir ini akan diteliti karakteristik termoelektrik pada *dispenser* (alat pendingin air minum) yang hanya dijual di Yogyakarta untuk mengetahui karakteristik kemampuan termoelektrik dengan beberapa variasi pengujian.

1.2. Perumusan Masalah

Di Yogyakarta termoelektrik yang banyak dijual di pasaran menurut survey adalah termoelektrik dengan nomer seri TEC1 – 12706 yang biasa dipakai sebagai alat pendingin. TEC1 berarti termoelektrik satu tingkat, 127 adalah jumlah pasang elemen semikonduktor dan 06 adalah arus masuk maksimal.

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 maximal (V_{\max}) = 14,9 V, kapasitas Pendinginan (Q_{\max}) pada ($\Delta T = 0$) = 53 watt, beda temperatur (sisi panas dan sisi dingin) (ΔT_{\max}) = 68°C jumlah semikonduktor 127 pasang.

Karakteristik yang akan diteliti :

- a. Hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (ΔT).
- b. Hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan temperatur sisi dingin (T_c).
- c. Hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan temperatur sisi dingin (T_c).
- d. Hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (ΔT).
- e. Hubungan temperatur sisi dingin (T_H) dan waktu (t).
- f. Hubungan temperatur sisi panas (T) dan waktu (t).
- g. Hubungan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (ΔT) dan waktu (t).
- h. Hubungan *figur of merit* (z) dan waktu (t).
- i. Hubungan kapasitas pendinginan (Q_c), Q_{actual} , temperatur sisi dingin (T_c), Temperatur air (T_{air}) dan waktu (t).

1.3. Tujuan Penelitian

- a. Membuat grafik karakteristik modul termoelektrik (seri TEC1-12706) yang digunakan pada *dispenser* atau alat pendingin air minum.
- b. Mengetahui karakteristik modul termoelektrik sebagai dasar perencanaan.

- c. Menambah kepustakaan teknologi pendingin yang menggunakan termoelektrik.

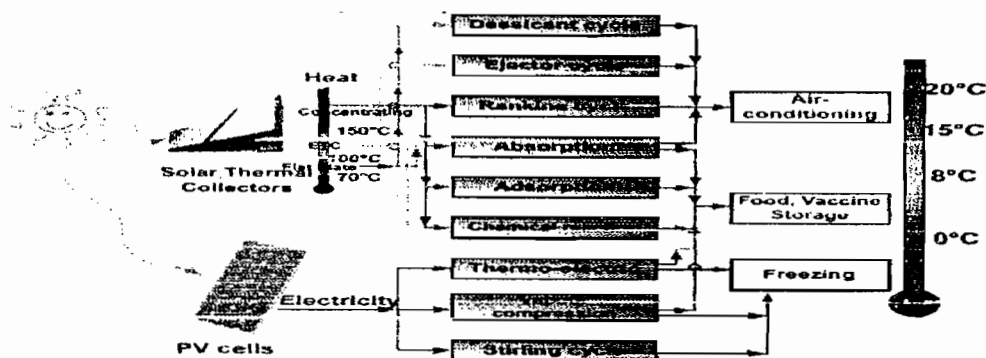
1.4 Batasan Masalah

Alat yang digunakan adalah *dispenser* (pendingin air minum) dengan termoelektrik seri (TEC1 12706) dengan $I_{\max} = 6 \text{ A}$, $V_{\max} = 14,9 \text{ V}$ temperatur dingin normal $15-8^{\circ}\text{C}$ / jam, kapasitas = 0,5 liter dengan variasi temperatur air, temperatur suhu udara sekitar, arus masukan dan menggunakan solar sel dengan variasi beda suhu udara sekitar.

BAB II

DASAR TEORI

Dalam penggunaan energi surya juga dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai energi listrik dengan bantuan solar sel yang mengubah energi surya menjadi energi energi listrik. Salah satu penggunaan energi surya sebagai sistem pendingin dengan menggunakan termoelektrik. Dan masih banyak lagi sistem yang lain yang menggunakan energi surya seperti dalam gambar 2.



Gambar 2. Sistem-sistem pendingin surya

Ukuran unjuk kerja keseluruhan dari bahan atau modul termoelektrik umumnya dinyatakan dengan parameter yang disebut *figur of merit* (Z) dan dapat dihitung dengan persamaan (Buist, halaman 3) :

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

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 umum dipakai (termasuk seri TEC1-12706) harga-harganya dapat dihitung dengan persamaan (berlaku untuk kisar temperatur -100°C sampai $+150^\circ\text{C}$):

Koefisien Seebeck (Buist, halaman 4) :

$$S_M = s_1 + s_2T + s_3T^2 + s_4T^4 \quad (2)$$

Dengan :

S_M : koefisien Seebeck modul (V/K)

T : temperatur rata-rata modul (K)

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

$$S_1 = 1.33450 \times 10^{-2}$$

$$S_2 = -5.37574 \times 10^{-5}$$

$$S_3 = 7.42731 \times 10^{-7}$$

$$S_4 = -1.27141 \times 10^{-9}$$

Persamaan di atas 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 (Buist, halaman 4) :

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

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

dengan :

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

S_{MTC} : koefisien Seebeck modul pada sisi dingin T_C (V/K)

Tahanan listrik modul termoelektrik (Buist, halaman 5) :

Jika $\Delta T = 0$:

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

Jika $\Delta T > 0$:

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

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

dengan :

R_M : tahanan listrik modul (ohm)

T : temperatur rata-rata modul (K)

R_{MTH} : tahanan listrik modul pada sisi panas T_H (ohm)

R_{MTC} : tahanan listrik modul pada sisi dingin T_C (ohm)

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

$$r_1 = 2.08317$$

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

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

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

Konduktansi termal modul (Buist, halaman 5) :

Jika $\Delta T = 0$:

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

Jika $\Delta T > 0$:

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

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

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 dingin T_C (W/K)

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

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

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

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

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

untuk modul termoelektrik dengan jumlah semikonduktor dan arus selain 71 pasang dan 6 amper maka harga S_M , R_M , dan K_M di atas harus dikonversi dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut (Buist, halaman 6) :

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

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

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

dengan :

- S_{new} : koefisien Seebeck untuk modul yang baru (W/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 persamaan-persamaan untuk menghitung S_M , R_M , dan K_M adalah temperatur rata-rata sisi dingin dan sisi panas T_{avg} (untuk $\Delta T = 0$) (Buist, halaman 7)

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

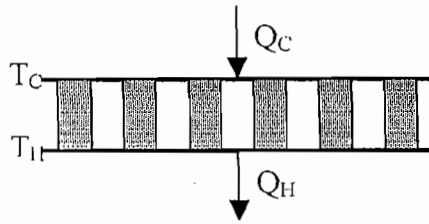
Unjuk kerja modul termoelektrik :

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

1. I_{IN} : arus masukan ke modul termoelektrik dalam ampere
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 di atas ditentukan, umumnya parameter yang ditetapkan adalah T_H , I_{IN} dan Q_C atau T_H , I_{IN} , dan T_C .

Perhitungan modul termoelektrik satu tingkat



Gambar 3. Modul termoelektrik pada proses pendinginan

Beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin (ΔT) modul termoelektrik (dalam K) dihitung dengan persamaan (Buist, halaman 7) :

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

Panas yang dipompa oleh modul termoelektrik (Q_C) pada sisi dingin (dalam watt) dihitung dengan persamaan (Buist, halaman 7) :

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

Masukkan daya listrik (P_{IN}) modul termoelektrik (dalam watt) dihitung dengan persamaan (Buist, halaman 8) :

$$P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN} \quad (17)$$

Koefisien unjuk kerja modul termoelektrik (COP) sebagai pendingin dihitung dengan persamaan (Buist, halaman 8) :

$$COP = Q_C / P_{IN} \quad (18)$$

Q actual yang bekerja terhadap air dihitung dengan persamaan:

$$Q_{actual} = m \cdot C_p \cdot \Delta T / t \quad (19)$$

Dengan m : massa (Kg)

C_p : diasumsikan 4182 kJ/(kg⁰ C)

ΔT : selisih temperatur air sebelum dan sesudah (K)

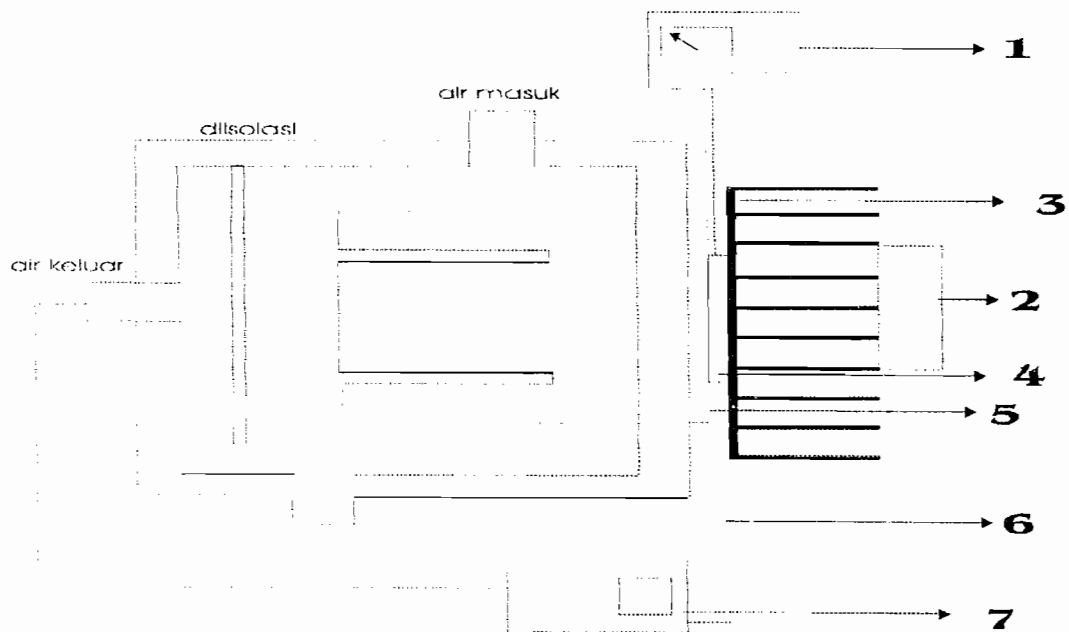
t : waktu (s)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan Penelitian

Skema alat dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4. Skema alat penelitian

Keterangan:

1. Sumber arus DC
2. *Fan*
3. *Heatzink* (T_H)
4. Modul termoelektrik seri TEC1-12706
5. *coolzink* (T_c)
6. termokopel
7. termometer digital

3.2 Peralatan yang digunakan

1. Adaptor
2. *Dispenser* dengan termoelektrik seri TEC1-12706
3. solar sel
4. Termometer air raksa
5. Termokopel
6. Termometer digital
7. Lampu 100 W untuk variasi suhu lingkungan
8. *StopWatch*

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 masuk dari sumber DC

Temperatur air dalam *Dispenser*

V_{in} : tegangan masuk dari sumber DC

Pengambilan data dilakukan dengan beberapa variasi agar didapat $\Delta T = T_H - T_C$

yang tetap. Pada pengambilan data diulang untuk mendapatkan beberapa variasi

ΔT .

3.4 Langkah Penelitian

1. Pada variasi temperatur air
 - a. Melakukan pengukuran awal :
 1. Mengukur temperatur mula-mula air.
 2. Mengukur temperatur mula-mula sisi dingin.
 3. Mengukur temperatur mula-mula sisi panas.
 4. Mengukur suhu udara sekitar.
 5. mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari adaptor elektrik.
 - b. Memasukkan air ke *dispenser*
 - c. Mengaktifkan *Dispenser*
 - d. Mengambil data dan mencatat per 10 menit :
 1. Mengukur temperatur sisi dingin.
 2. Mengukur temperatur sisi panas.
 3. Mengukur temperatur air dalam *dispenser*
 4. Mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari adaptor elektrik.
 - e. Mengulangi beberapa kali dengan memasukkan temperatur mula-mula air yang berbeda

2. Pada variasi arus masuk (V_{in})
 - a. Melakukan pengukuran awal :
 1. Mengukur temperatur mula-mula air.
 2. Mengukur temperatur mula-mula sisi dingin.

3. Mengukur temperatur mula-mula sisi panas.
 4. Mengukur suhu udara sekitar.
 5. Mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari adaptor.
- b. Memasukkan air ke *dispenser*
 - c. Mengaktifkan *Dispenser*
 - d. Mengambil data dan mencatat per 10 menit :
 1. Mengukur temperatur sisi dingin.
 2. Mengukur temperatur sisi panas.
 3. Mengukur temperatur air dalam *dispenser*
 4. Mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari adaptor
 - e. Mengulangi beberapa kali dengan memakai sumber DC atau adaptor yang berbeda.
3. Pada variasi temperatur udara sekitar dengan menggunakan solar sel
 - a. Melakukan pengukuran awal:
 1. Mengukur temperatur mula-mula air.
 2. Mengukur temperatur mula-mula sisi dingin.
 3. Mengukur temperatur mula-mula sisi panas.
 4. Mengukur suhu udara sekitar.
 5. Mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari solar sel.

- b. Memasukkan air ke *dispenser*
 - c. Mengaktifkan *Dispenser*
 - d. Mengambil data dan mencatat per 10 menit :
 - 1. Mengukur temperatur sisi dingin.
 - 2. Mengukur temperatur sisi panas.
 - 3. Mengukur temperatur air dalam *dispenser*
 - 4. Mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari solar sel
 - e. Mengulangi beberapa kali dengan menggunakan solar sel tetapi dispenser ditaruh di beda tempat dan beda temperatur udara sekitar.
4. Pada variasi temperatur udara sekitar
- a. Melakukan pengambilan data :
 - 1. Mengukur temperatur mula-mula air.
 - 2. Mengukur temperatur mula-mula sisi dingin.
 - 3. Mengukur temperatur mula-mula sisi panas.
 - 4. Mengukur suhu udara mula-mula sekitar.
 - 5. Mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari adaptor elektrik.
 - b. Memasukkan air ke *dispenser*
 - c. Mengaktifkan *Dispenser*

- d. Mengambil data dan mencatat per 10 menit :
 1. Mengukur temperatur sisi dingin.
 2. Mengukur temperatur udara sekitar
 3. Mengukur temperatur sisi panas.
 4. Mengukur temperatur air dalam *dispenser*
 5. Mengukur tegangan masuk dan arus masuk dari adaptor elektrik
- e. Mengulangi beberapa kali dengan beberapa variasi temperatur udara sekitar yang berbeda.

3.5 Parameter yang dihitung

1. Berdasar pengukuran temperatur sisi panas (T_H) dan temperatur sisi dingin (T_C) dihitung temperatur rata-rata (T_{avg}) dengan persamaan (14) dan selisih temperatur (ΔT) dengan persamaan (15).
2. Hitung koefisien Seebeck (S_m), tahanan listrik (R_M), dan konduktansi termal (K_M) modul termoelektrik dengan persamaan (11), (12), dan (13).
3. Hitung besar *figure of merit* (Z) dengan persamaan (1).
4. Hitung panas yang dipompa modul termoelektrik pada sisi dingin (Q_C) dengan persamaan (16).
5. Hitung daya masukan (P_{IN}) dengan persamaan (17).
6. Hitung koefisien unjuk kerja (COP) dengan persamaan (18).
7. Hitung Q actual dengan persamaan (19).
8. Buat grafik karakteristik modul termoelektrik TEC1-12706 yang terdiri dari:

- a. Hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (ΔT).
- b. Hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan temperatur sisi dingin (T_c).
- c. Hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan temperatur sisi dingin (T_c).
- d. Hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (ΔT).
- e. Hubungan temperatur sisi dingin (T_c) dan waktu (t).
- f. Hubungan temperatur sisi panas (T_H) dan waktu (t).
- g. Hubungan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin (ΔT) dan waktu (t).
- h. Hubungan *figur of merit* (Z) dan waktu (t).
- i. Hubungan kapasitas pendinginan (Q_c), Q_{actual} , temperatur sisi dingin (T_c), temperatur air (T_{air}) dan waktu (t).

BAB IV

HASIL PENGAMBILAN DATA

Dari beberapa pengujian didapat data sebagai berikut:

4.1 Variasi Temperatur Air (T air)

- a. T air mula-mula : 26,9 °C
 - T ruang : 27,5 °C
 - Volume air : 0,5 lt
 - Menggunakan adaptor elektrik
 - Arus listrik (i) : 4,5 A
 - Tegangan (V) : 12,8 V
 - T plat dingin (°C) : 27,11 °C
 - T plat panas (°C) : 27,25 °C

Tabel 1. Tabel hasil pengambilan data pada variasi T air mula-mula = 26,9 °C

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)
10	3,8	12,5	20,32	18,73	46,49
20	3,8	12,5	17,11	16,45	45,81
30	3,8	12,5	13,55	14,38	44,45
40	3,8	12,5	9,56	12,75	44,0
50	3,8	12,5	8,78	11,44	43,66
60	3,8	12,5	8,08	10,25	42,98

- b. T air mula-mula : 29 °C
 - T ruang : 27,5 °C
 - Volume air : 0,5 lt

- Menggunakan adaptor elektrik
- Arus listrik (i) : 4,5 A
- Tegangan (V) : 12,8 V
- T plat dingin ($^{\circ}\text{C}$) : 28,20 $^{\circ}\text{C}$
- T plat panas ($^{\circ}\text{C}$) : 29,63 $^{\circ}\text{C}$

Tabel 2. Tabel hasil pengambilan data pada variasi T air mula-mula = 29 $^{\circ}\text{C}$

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair ($^{\circ}\text{C}$)	T plat dingin ($^{\circ}\text{C}$)	T plat panas ($^{\circ}\text{C}$)
10	3,8	12,5	21,10	20,80	47,74
20.	3,8	12,5	18,67	18,30	47,51
30	3,8	12,5	15,46	15,91	46,72
40	3,8	12,5	12,68	13,74	45,93
50	3,8	12,5	11,21	12,21	45,47
60	3,8	12,5	9,90	10,68	44,23

- c. T air mula-mula : 32 $^{\circ}\text{C}$
- Volume air : 0,5 lt
 - T ruang : 28,3 $^{\circ}\text{C}$
 - Menggunakan adaptor elektrik
 - Arus listrik (i) : 4,5 A
 - Tegangan (V) : 12,8 V
 - T plat dingin ($^{\circ}\text{C}$) : 29,4 $^{\circ}\text{C}$
 - T plat panas ($^{\circ}\text{C}$) : 30,30 $^{\circ}\text{C}$

Tabel 3. Tabel hasil pengambilan data pada variasi T air mula-mula = 32 °C

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)
10	3,8	12,5	26,57	25,37	48,19
20	3,8	12,5	22,23	22,11	47,65
30	3,8	12,5	19,63	18,84	46,67
40	3,8	12,5	15,46	16,12	46,23
50	3,8	12,5	12,68	14,92	45,69
60	3,8	12,5	11,55	13,18	44,71

- d. T air mula-mula : 34 °C
- Volume air : 0,5 lt
 - T ruang : 28,5 °C
 - Menggunakan adaptor elektrik
 - Arus listrik (i) : 4,5 A
 - Tegangan (V) : 12,8 V
 - T plat dingin (°C) : 28,09 °C
 - T plat panas (°C) : 28,27 °C

Tabel 4. Tabel hasil pengambilan data pada variasi T air mula-mula = 34 °C

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)
10	3,8	12,5	26,92	25,48	54,87
20	3,8	12,5	22,75	22,11	54,19
30	3,8	12,5	19,54	19,28	53,62
40	3,8	12,5	15,11	16,45	53,17
50	3,8	12,5	13,03	14,49	51,92
60	3,8	12,5	12,07	12,75	51,70

- e. T air mula-mula : 54 °C
 - Volume air : 0,5 lt
 - T ruang : 28,5 °C
 - Menggunakan adaptor elektrik
 - Arus listrik (i) : 4,5 A
 - Tegangan (V) : 12,8 V
 - T plat dingin (°C) : 30,81 °C
 - T plat panas (°C) : 31,66 °C

Tabel 5. Tabel hasil pengambilan data pada variasi T air mula-mula = 54 °C

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)
10	3,8	12,5	40,36	34,40	56,56
20	3,8	12,5	33,87	30,16	55,21
30	3,8	12,5	28,22	26,24	54,53
40	3,8	12,5	24,58	23,63	53,62
50	3,8	12,5	21,89	20,69	53,28
60	3,8	12,5	17,89	17,54	52,72

4.2 Variasi Arus Listrik

- a. Arus listrik (i) : 1,15 A
 - Volume air : 0,5 lt
 - Tegangan (V) : 11,8 V
 - T ruang : 27,6 °C
 - Menggunakan adaptor dengan trafo
 - T plat dingin (°C) : 27,7 °C
 - T plat panas (°C) : 28,04 °C

- T air mula-mula : 28 °C

Tabel 6. Tabel hasil pengambilan data pada variasi arus listrik = 1,15 A

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)
10	0,78	2,5	25,27	26,03	32,57
20	0,78	2,5	24,92	24,18	31,89
30	0,78	2,5	24,23	23,74	31,78
40	0,78	2,5	23,36	22,76	31,55
50	0,78	2,5	22,58	22,5	31,44
60	0,78	2,5	21,54	21,89	31,32

- b. Arus listrik (i) : 2,33 A

- Volume air : 0,5 lt
- Tegangan (V) : 16,4 V
- T ruang : 27,7°C
- Menggunakan adaptor dengan trafo
- T plat dingin (°C) : 28,86 °C
- T plat panas (°C) : 28,61 °C
- T air mula-mula : 28 °C

Tabel 7. Tabel hasil pengambilan data pada variasi arus listrik = 2,33 A

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)
10	2,2	6,9	22,92	21,78	40,49
20	2,2	6,9	21,02	20,15	40,27
30	2,2	6,9	19,63	17,97	39,70
40	2,2	6,9	16,68	16,88	39,25
50	2,2	6,9	13,03	15,80	39,02
60	2,2	6,9	10,60	14,49	38,68

- c. Arus listrik (i) : 4,5 A
- Volume air : 0,5 lt
 - Tegangan (V) : 12,8 V
 - T ruang : 27,5 °C
 - Menggunakan adaptor elektrik
 - T plat dingin (°C) : 28,20 °C
 - T plat panas (°C) : 29,63 °C
 - T air mula-mula : 29 °C

Tabel 8. Tabel hasil pengambilan data pada variasi arus listrik = 4,5 A

Waktu (t) (menit)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)
10	3,8	12,5	21,10	20,80	47,74
20	3,8	12,5	18,67	18,30	47,51
30	3,8	12,5	15,46	15,91	46,72
40	3,8	12,5	12,68	13,74	45,93
50	3,8	12,5	11,21	12,21	45,47
60	3,8	12,5	9,90	10,68	44,23

4.3 Variasi menggunakan solar sel

- a. Di tempat yang panas T lingkungan : 30°C
- Volume air : 0,5 lt
 - Panjang kabel : 8 m
 - Jam 9.00 hari Rabu 13 Juli 2005
 - Menggunakan solar sel
 - T plat dingin (°C) : 28,42 °C
 - T plat panas (°C) : 28,61 °C
 - T air mula-mula : 27 °C

Tabel 9. Tabel hasil pengambilan data pada variasi menggunakan solar sel di T lingkungan = 30 °C

Waktu (t) Menit	Tair (°C)	Tplat dingin (°C)	Tplat panas (°C)	Keterangan Cuaca	Arus listrik (i)	Tegangan (V)
10	22,49	20,69	46,60	Cerah	3,75	11,8
20	17,37	19,82	45,70	Cerah	3,8	11,9
30	14,94	17,21	47,40	Cerah	4,02	12,7
40	14,42	22,22	38,23	Berawan	0,84	3,2
50	14,33	16,45	46,38	Cerah	3,38	11,14
60	11,38	16,12	45,93	Cerah	3,56	11,31

b. Di tempat yang teduh T lingkungan : 28°C

- Volume air : 0,5 lt
- Jam 10.15 hari Rabu 13 Juli 2005
- Panjang kabel : 8 m
- Menggunakan solar sel
- T plat dingin (°C) : 28,75 °C
- T plat panas (°C) : 29,17 °C
- T air mula-mula : 27 °C



Tabel 10. Tabel hasil pengambilan data pada variasi menggunakan solar sel di T lingkungan = 28 °C

Waktu (t) Menit	Tair (°C)	Tplat dingin (°C)	Tplat panas (°C)	Keterangan Cuaca	Arus listrik (i)	Tegangan (V)
10	22,84	22	46,15	Cerah	3,19	11,0
20	20,58	18,19	44,34	Cerah	2,95	9,8
30	19,02	19,50	35,17	Berawan	1,56	5,4
40	17,63	18,84	35,06	Berawan	1,33	4,8
50	16,16	15,26	39,93	Cerah	3,15	10,58
60	12,42	17,93	39,59	Cerah	3,05	10,43

4.4 Variasi temperatur lingkungan

a. T lingkungan : 30⁰C

- Volume air : 0,5 lt
- Menggunakan adaptor elektrik
- Arus listrik (i) : 4,5 A
- Tegangan (V) : 12,8 V
- T plat dingin (⁰C) : 29,40 ⁰C
- T plat panas (⁰C) : 29,51 ⁰C
- T air mula-mula : 27 ⁰C

Tabel 11. Tabel hasil pengambilan data pada variasi temperatur lingkungan = 30 ⁰C

Waktu (t) (menit)	Tair (⁰ C)	T plat dingin (⁰ C)	T plat panas (⁰ C)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)
10	21,02	18,84	46,83	3,8	12,5
20	18,76	15,58	45,93	3,8	12,5
30	14,25	14,82	45,02	3,8	12,5
40	11,47	11,99	44,57	3,8	12,5
50	10,69	11,01	44,23	3,8	12,5
60	9,82	10,57	43,55	3,8	12,5

b. T lingkungan : 31,5⁰C

- Volume air : 0,5 lt
- Tegangan (V) : 12,8 V
- Arus listrik (i) : 4,5 A
- Menggunakan adaptor elektrik
- T plat dingin (⁰C) : 29,62 ⁰C
- T plat panas (⁰C) : 30,30 ⁰C
- T air mula-mula : 27 ⁰C

Tabel 12 Tabel hasil pengambilan data pada variasi temperatur lingkungan = 31,5 °C

Waktu (t) (menit)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)
10	22,23	20,58	49,89	3,8	12,5
20	19,28	16,88	48,53	3,8	12,5
30	15,37	15,61	47,62	3,8	12,5
40	12,25	13,18	46,49	3,8	12,5
50	11,12	11,44	45,13	3,8	12,5
60	10,77	11,12	44,68	3,8	12,5

c. Tlingkungan : 33 °C

- Volume air : 0,5 lt
- Tegangan (V) : 12,8 V
- Arus listrik (i) : 4,5 A
- Menggunakan adaptor elektrik
- T plat dingin (°C) : 31,03 °C
- T plat panas (°C) : 32,34 °C
- T air mula-mula : 27 °C

Tabel 13 Tabel hasil pengambilan data pada variasi temperatur lingkungan = 33 °C

Waktu (t) (menit)	Tair (°C)	T plat dingin (°C)	T plat panas (°C)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)
10	22,58	21,02	50,45	3,8	12,5
20	19,80	18,30	48,53	3,8	12,5
30	15,98	15,91	47,62	3,8	12,5
40	13,12	13,62	47,06	3,8	12,5
50	12,07	12,42	46,49	3,8	12,5
60	10,95	11,23	45,81	3,8	12,5

d. Tlingkungan : 35,2⁰C

- Volume air : 0,5 lt
- Arus listrik (i) : 4,5 A
- Tegangan (V) : 12,8 V
- Menggunakan adaptor elektrik
- T plat dingin (⁰C) : 31,25 ⁰C
- T plat panas (⁰C) : 33,47 ⁰C
- T air mula-mula : 27,5 ⁰C

Tabel 14 Tabel hasil pengambilan data pada variasi temperatur lingkungan = 35,2⁰C

Waktu (t) (menit)	Tair (⁰ C)	T plat dingin (⁰ C)	T plat panas (⁰ C)	Arus Listrik (i)	Tegangan (V)
0	27,5	31,25	33,47	4,5	12,8
10	22,84	21,89	51,36	3,8	12,5
20	19,89	19,06	50,34	3,8	12,5
30	17,02	16,45	48,75	3,8	12,5
40	13,38	13,84	47,96	3,8	12,5
50	12,42	12,75	47,40	3,8	12,5
60	11,55	11,77	47,06	3,8	12,5

BAB V ANALISA PENELITIAN

5.1 Perhitungan dari Hasil Pengambilan Data

a. Perhitungan temperatur rata-rata (T_{avg})

Perhitungan tabel 1. variasi T air dengan T mula-mula air : $26,9^{\circ}\text{C}$

Pada (t) waktu : 0 menit

$$\begin{aligned} \text{Diketahui dari data } T_H &= 27,25^{\circ}\text{C} \\ &= 27,25^{\circ}\text{C} + 273 = 300,25 \text{ K} \\ T_c &= 27,11 + 273 = 300,11 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{avg} &= \frac{T_H + T_c}{2} \\ &= \frac{300,25 + 300,11}{2} \\ &= 300,18 \text{ K} \end{aligned}$$

b. Perhitungan selisih temperatur (ΔT)

Perhitungan tabel 1 variasi Tair dengan T mula-mula air = $26,9^{\circ}\text{C}$

Pada t (waktu) : 0 menit

$$\begin{aligned} \text{Diketahui dari data } T_H &= 27,25^{\circ}\text{C} = 300,25 \text{ K} \\ T_c &= 27,11^{\circ}\text{C} = 300,11 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_H - T_c \\ &= 300,25 - 300,11 \\ &= 0,14 \text{ K} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Koefisien Seebeck (S_m)

$$S_m = \frac{(S_{mTH} - S_{mTC})}{\Delta T}$$

Karena S_{mTH} dan S_{mTC} belum diketahui nilainya maka perlu dicari dengan

$$\text{rumus } S_{mTH} \text{ atau } S_{mTC} = S_1 T + \frac{S_2 T^2}{2} + \frac{S_3 T^3}{3} + \frac{S_4 T^4}{4}$$

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 A

$$S_1 : 1,3345 \cdot 10^{-2}$$

$$S_2 : -5,37574 \cdot 10^{-5}$$

$$S_3 : 7,42731 \cdot 10^{-7}$$

$$S_4 : -1,27141 \cdot 10^{-9}$$

Dengan diketahui $T_H = 319,49 \text{ K}$

$$T_C = 291,73 \text{ K}$$

Pada tabel 1 variasi T air dengan T air mula-mula = $26,9^{\circ}\text{C}$ dengan $t = 10$ menit

$$\Delta T = 27,76 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} S_{mTH} &= S_1 T_H + \frac{S_2 T_H^2}{2} + \frac{S_3 T_H^3}{3} + \frac{S_4 T_H^4}{4} \\ &= 1,3345 \cdot 10^{-2} (319,49) + \frac{(-5,37574 \cdot 10^{-5} (319,49)^2)}{2} + \\ &\quad \frac{7,42731 \cdot 10^{-7} (319,49)^3}{3} + \frac{(-1,27141 \cdot 10^{-9} (319,49)^4)}{4} \\ &= 4,2635 + (-2,7436) + 8,0842 + (-3,3117) \\ &= 6,2924 \text{ V/K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{mTC} &= S_1 T_C + \frac{S_2 T_C^2}{2} + \frac{S_3 T_C^3}{3} + \frac{S_4 T_C^4}{4} \\ &= 1,3345 \cdot 10^{-2} (291,73) + \frac{(-5,37574 \cdot 10^{-5} (291,73)^2)}{2} + \\ &\quad \frac{7,42731 \cdot 10^{-7} (291,73)^3}{3} + \frac{(-1,27141 \cdot 10^{-9} (291,73)^4)}{4} \\ &= 3,8931 + (-2,2875) + 6,1468 + (-2,3022) \\ &= 5,4502 \text{ V/K} \end{aligned}$$

$$S_m = \frac{6,2924 \cdot 5,4502}{27,76}$$

$$= 0,03033 \text{ V/K}$$

d. Perhitungan Tahanan Listrik R_m (ohm)

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C

Pada t (waktu) : 10 menit

Diketahui data : ΔT : 27,76 K , T_H : 319,49 K, T_C : 291,73 K

$$R_{mTH} = r_1 T_H + \frac{r_2 T_H^2}{2} + \frac{r_3 T_H^3}{3} + \frac{r_4 T_H^4}{4}$$

$$R_{mTC} = r_1 T_C + \frac{r_2 T_C^2}{2} + \frac{r_3 T_C^3}{3} + \frac{r_4 T_C^4}{4}$$

$$R_m = \frac{R_{mTH} + R_{mTC}}{\Delta T}$$

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 A

$$r_1 = 2,08317$$

$$r_2 = -1,98763 \cdot 10^{-2}$$

$$r_3 = 8,53832 \cdot 10^{-5}$$

$$r_4 = -9,03143 \cdot 10^{-8}$$

$$R_{mTH} = 2,08317 (319,49) + \frac{(-1,98763 \cdot 10^{-2} (319,49)^2)}{2} +$$

$$\frac{8,53832 \cdot 10^{-5} (319,49)^3}{3} + \frac{(-9,03143 \cdot 10^{-8} (319,49)^4)}{4}$$

$$= 665,555 + (-1014,425) + 928,160 + (-235,247)$$

$$= 344,043 \text{ ohm}$$

$$R_{mTH} = 2,08317 (291,73) + \frac{(-1,98763 \cdot 10^{-2} (291,73)^2)}{2} +$$

$$\frac{8,53832 \cdot 10^{-5} (291,73)^3}{3} + \frac{(-9,03143 \cdot 10^{-8} (291,73)^4)}{4}$$

$$= 607,723 + (-845,8) + 706,633 + (-163,538)$$

$$= 305,018 \text{ ohm}$$

$$R_m = \frac{344,043 - 305,018}{27,76}$$

$$= 1,405 \text{ ohm}$$

e. Perhitungan Konduktansi Termal (K_m)

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C

(t) waktu : 10 menit

dengan ΔT : 27,76 K

$$T_H : 319,49 \text{ K}$$

$$T_C : 291,73 \text{ K}$$

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6A

$$K_1 = 4,76218 \cdot 10^{-1}$$

$$K_2 = -3,89821 \cdot 10^{-6}$$

$$K_3 = -8,64864 \cdot 10^{-6}$$

$$K_4 = 2,20869 \cdot 10^{-8}$$

$$K_m = \frac{K_{mTH} + K_{mTC}}{\Delta T}$$

$$K_{mTH} \text{ atau } K_{mTC} = K_1 T + \frac{K_2 T^2}{2} + \frac{K_3 T^3}{3} + \frac{K_4 T^4}{4}$$

$$K_{mTH} = K_1 T_H + \frac{K_2 T_H^2}{2} + \frac{K_3 T_H^3}{3} + \frac{K_4 T_H^4}{4}$$

$$K_{mTC} = K_1 T_C + \frac{K_2 T_C^2}{2} + \frac{K_3 T_C^3}{3} + \frac{K_4 T_C^4}{4}$$

$$K_{mTH} = 4,76218 \cdot 10^{-1} (319,49) + \frac{(-3,89821 \cdot 10^{-6} (319,49)^2)}{2} +$$

$$\frac{(-8,64864 \cdot 10^{-6} (319,49)^3)}{3} + \frac{2,20869 \cdot 10^{-8} (291,73)^4}{4}$$

$$= 152,146 + (-0,19895) + (-94,015) + 57,531$$

$$= 115,463 \text{ W/K}$$

$$\begin{aligned}
K_{\text{MTC}} &= 4,76218 \cdot 10^{-1} (219,73) + \frac{(-3,89821 \cdot 10^{-6} (219,73)^2)}{2} + \\
&\quad \frac{(-8,64864 \cdot 10^{-6} (219,73)^3)}{3} + \frac{2,20869 \cdot 10^{-8} (219,73)^4}{4} \\
&= 138,927 + (-016588) + (-71,576) + 39,994 \\
&= 107,179 \text{ W/K} \\
K_m &= \frac{115,464 \cdot 107,179}{27,76} \\
&= 0,298 \text{ W/K}
\end{aligned}$$

f. Perhitungan koefisien Seebeck dengan modul baru (V/K)

$$S_{\text{new}} = S_m \cdot \frac{S_{\text{new}}}{71}$$

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C
dengan (t) waktu : 10 menit

n_{new} = 127 dari jumlah pasang semikonduktor T E C yang dipakai.

$$\begin{aligned}
S_{\text{new}} &= 0,03033 \cdot \frac{127}{71} \\
&= 0,05425 \text{ V/K}
\end{aligned}$$

g. Perhitungan Tahanan Listrik dengan Modul yang baru (ohm)

$$R_{\text{new}} = R_m \cdot \frac{6}{I_{\text{new}}} \times \frac{n_{\text{new}}}{71}$$

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C
dengan (t) waktu : 10 menit

I_{new} dan n_{new} dari jumlah pasang semikonduktor T E C dipakai

n_{new} = 127 pasang

I_{new} = 6 A

$$\begin{aligned}
R_{\text{new}} &= 1,405 \cdot \frac{6}{6} \cdot \frac{127}{71} \\
&= 2,513 \text{ ohm}
\end{aligned}$$

- h. Perhitungan Konduktansi Termal di Modul yang baru (W/K)

$$K_{\text{new}} = K_M \cdot \frac{I_{\text{new}}}{6} \times \frac{n_{\text{new}}}{71}$$

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C
dengan (t) waktu : 10 menit

I_{new} dan n_{new} dari jumlah pasang semikonduktor T E C dipakai $n_{\text{new}} = 127$ pasang

$$I_{\text{new}} = 6 \text{ Ampere}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{new}} &= 0,298 \cdot \frac{6}{6} \cdot \frac{127}{71} \\ &= 0,533 \text{ W/K} \end{aligned}$$

- i. Perhitungan Besar Figure of Merit (Z)

$$Z = \frac{S_{\text{new}}^2}{R_{\text{new}} \cdot K_{\text{new}}}$$

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C
dengan (t) waktu : 10 menit

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(0,05425)^2}{2,1513 \times 0,533} \\ &= 2,566 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

- j. Perhitungan Panas yang dipompa modul T E C pada sisi dingin (Qc)

$$Q_c = (S_{\text{new}} \times T_c \times \ln) - (0,5 \times \ln^2 \times R_{\text{new}}) - (K_{\text{new}} \times \Delta T)$$

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C
dengan (t) waktu : 10 menit

$$\begin{aligned} Q_c &= (0,05425 \cdot 291,73 \cdot 3,8) - (0,5 \cdot (3,8)^2 \cdot 2,1513) - (0,533 \cdot 27,76) \\ &= 60,140 - 15,532 - 14,796 \\ &= 29,812 \text{ watt} \end{aligned}$$

- k. Perhitungan daya masukan (P in)

$$P_{\text{in}} = V_{\text{in}} \cdot I_{\text{in}}$$

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C
dengan (t) waktu : 10 menit

$$P_{in} = 12,5 \cdot 3,8 \\ = 47,5 \text{ watt}$$

l. Perhitungan Koefisien Unjuk Kerja (C_{op})

$$C_{op} = \frac{Q_c}{P_{in}}$$

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C
dengan (t) waktu : 10 menit

$$C_{op} = \frac{29,812}{47,5} \\ = 0,6276$$

m. Perhitungan Q actual

Perhitungan tabel 1 pada variasi T air dengan T air mula-mula = 26,9 °C

Dengan (t) : 10 menit

$$Q_{actual} = m \cdot C_p \cdot \Delta T_{air} / t$$

$$\Delta T_{air} = T_{air} \text{ sebelum} - T_{air} \text{ sesudah} \\ = 299,9 - 293,32 \\ = 6,58 \text{ K}$$

$$Q_{actual} = 0,5 \cdot 4182 \cdot 6,58 / 600 \\ = 22,931 \text{ Watt}$$

Karena ada kesamaan rumus dalam perhitungan, maka perhitungan di setiap variasi tidak perlu untuk dicantumkan seluruhnya. Untuk itu perhitungan yang lainnya dibuat dalam tabel hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 15. Tabel perhitungan pada variasi T air dengan T air = 26,9 °C dari tabel 1

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air °C	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	319.49	291.73	305.61	27.76	6.282	5.450	0.03	344.039	305.018	1.41	115.463	107.179	0.30	0.054	2.514	0.533	0.002	3.8	12.5	29.81	47.5	0.62	20.3	293.32	6.58	22.931
20	318.81	289.45	304.13	29.36	6.261	5.384	0.03	343.019	302.052	1.40	115.050	106.525	0.29	0.053	2.496	0.519	0.002	3.8	12.5	25.56	47.5	0.54	17.1	290.11	3.21	11.187
30	317.45	287.38	302.41	30.04	6.220	5.323	0.03	340.988	299.389	1.38	114.630	105.934	0.29	0.053	2.477	0.518	0.002	3.8	12.5	24.87	47.5	0.52	13.6	286.55	3.56	12.407
40	317.00	285.75	301.37	31.25	6.206	5.276	0.03	340.318	297.313	1.38	114.492	105.470	0.29	0.053	2.462	0.516	0.002	3.8	12.5	23.91	47.5	0.50	9.56	282.56	3.99	13.905
50	316.66	284.44	300.55	32.22	6.196	5.238	0.03	339.814	295.658	1.37	114.388	105.098	0.29	0.053	2.451	0.516	0.002	3.8	12.5	23.16	47.5	0.49	8.78	281.78	0.78	2.718
60	315.98	283.25	299.61	32.73	6.175	5.204	0.03	338.807	294.164	1.36	114.180	104.761	0.29	0.053	2.440	0.515	0.002	3.8	12.5	22.68	47.5	0.48	8.08	281.08	0.7	2.439

Tabel 16. Tabel perhitungan pada variasi T air dengan T air = 29 °C dari tabel 2

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air °C	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	320.74	293.80	307.27	26.94	6.320	5.511	0.03	345.923	307.742	1.42	115.649	107.775	0.29	0.054	2.535	0.523	0.002	3.8	12.5	27.61	47.5	0.58	21.1	294.1	7.9	27.531
20	320.51	291.30	305.90	29.21	6.313	5.438	0.03	345.576	304.456	1.41	115.577	107.056	0.29	0.054	2.518	0.522	0.002	3.8	12.5	25.93	47.5	0.55	18.7	291.67	2.43	8.469
30	319.72	288.91	304.31	30.81	6.289	5.368	0.03	344.385	301.354	1.40	115.332	106.371	0.29	0.053	2.498	0.520	0.002	3.8	12.5	24.66	47.5	0.52	15.5	288.46	3.21	11.187
40	318.93	286.74	302.83	32.19	6.265	5.305	0.03	343.199	298.572	1.39	115.087	105.752	0.29	0.053	2.480	0.519	0.002	3.8	12.5	23.55	47.5	0.50	12.7	285.68	2.78	9.688
50	318.47	285.21	301.84	33.26	6.251	5.260	0.03	342.510	296.629	1.38	114.945	105.317	0.29	0.053	2.467	0.518	0.002	3.8	12.5	22.71	47.5	0.48	11.2	284.21	1.47	5.123
60	317.23	283.68	300.45	33.55	6.213	5.216	0.03	340.660	294.703	1.37	114.563	104.883	0.29	0.053	2.450	0.516	0.002	3.8	12.5	22.30	47.5	0.47	9.9	282.9	1.31	4.565

Tabel 17. Tabel perhitungan pada variasi T air dengan T air = 32 °C dari tabel 3

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air °C	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	321.19	298.37	309.78	22.82	6.334	5.646	0.03	346.604	313.862	1.43	115.789	109.102	0.29	0.054	2.566	0.524	0.002	3.8	12.5	30.66	47.5	0.65	26.6	299.57	5.43	18.924
20	320.65	295.11	307.88	25.54	6.318	5.550	0.03	345.787	309.482	1.42	115.621	108.154	0.29	0.054	2.543	0.523	0.002	3.8	12.5	28.60	47.5	0.60	22.2	295.23	4.34	15.125
30	319.67	291.84	305.75	27.83	6.288	5.453	0.03	344.31	305.162	1.41	115.316	107.211	0.29	0.054	2.516	0.521	0.002	3.8	12.5	26.80	47.5	0.56	19.6	292.63	2.6	9.061
40	319.23	289.12	304.17	30.11	6.274	5.374	0.03	343.649	301.625	1.40	115.180	106.431	0.29	0.053	2.496	0.520	0.002	3.8	12.5	25.09	47.5	0.53	15.5	288.46	4.17	14.532
50	318.69	287.92	303.30	30.77	6.258	5.339	0.03	342.839	300.081	1.39	115.013	106.088	0.29	0.053	2.486	0.519	0.002	3.8	12.5	24.53	47.5	0.52	12.7	285.68	2.78	9.688
60	317.71	286.18	301.94	30.53	6.228	5.288	0.03	341.375	297.859	1.43	114.710	105.593	0.30	0.055	2.550	0.534	0.002	3.8	12.5	25.14	47.5	0.53	11.6	284.55	1.13	3.938

Tabel 18. Tabel perhitungan pada variasi T air dengan T air = 34 °C dari tabel 4

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air °C	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	327.87	298.48	313.17	29.39	6.539	5.649	0.03	356.88	314.01	1.46	117.902	109.134	0.30	0.054	2.609	0.534	0.002	3.8	12.5	26.89	47.5	0.57	26.9	299.92	7.08	24.674
20	327.19	295.11	311.15	32.08	6.518	5.550	0.03	355.82	309.48	1.44	117.684	108.154	0.30	0.054	2.584	0.531	0.002	3.8	12.5	24.85	47.5	0.52	22.8	295.75	4.17	14.532
30	326.62	292.28	309.45	34.34	6.500	5.466	0.03	354.93	305.74	1.43	117.502	107.337	0.30	0.054	2.562	0.529	0.002	3.8	12.5	23.15	47.5	0.49	19.5	292.54	3.21	11.187
40	326.17	289.45	307.81	36.72	6.487	5.384	0.03	354.24	302.05	1.42	117.359	106.525	0.30	0.054	2.542	0.528	0.002	3.8	12.5	21.37	47.5	0.45	15.1	288.11	4.43	15.439
50	324.92	287.49	306.20	37.43	6.448	5.326	0.03	352.30	299.53	1.41	116.962	105.966	0.29	0.054	2.522	0.525	0.002	3.8	12.5	20.69	47.5	0.44	13	286.03	2.08	7.249
60	324.70	285.75	305.22	38.96	6.442	5.276	0.03	351.96	297.31	1.40	116.892	105.470	0.29	0.054	2.509	0.524	0.002	3.8	12.5	19.56	47.5	0.41	12.1	285.07	0.95	3.346

Tabel 19. Tabel perhitungan pada variasi T air dengan T air = 54⁰ C dari tabel 5

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air (K)	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	329.56	307.40	318.48	22.16	6.591	5.916	0.03	359.530	326.382	1.50	118.45	111.77	0.30	0.055	2.676	0.539	0.002	3.8	12.5	32.40	47.5	0.68	40.4	313.38	13.62	47.466
20	328.21	303.16	315.68	25.05	6.549	5.789	0.03	357.412	320.432	1.48	118.01	110.51	0.30	0.054	2.641	0.536	0.002	3.8	12.5	30.09	47.5	0.63	33.9	306.87	6.51	22.687
30	327.53	299.24	313.38	28.29	6.528	5.672	0.03	356.350	315.043	1.46	117.79	109.36	0.30	0.054	2.612	0.533	0.002	3.8	12.5	27.64	47.5	0.58	28.2	301.22	5.65	19.690
40	326.62	296.63	311.62	29.99	6.500	5.594	0.03	354.934	311.515	1.45	117.50	108.59	0.30	0.054	2.590	0.531	0.002	3.8	12.5	26.28	47.5	0.55	24.6	297.58	3.64	12.685
50	326.28	293.69	309.98	32.59	6.490	5.508	0.03	354.406	307.597	1.44	117.39	107.74	0.30	0.054	2.569	0.530	0.002	3.8	12.5	24.36	47.5	0.51	21.9	294.89	2.69	9.375
60	325.72	290.54	308.13	35.18	6.473	5.415	0.03	353.539	303.465	1.42	117.22	106.84	0.29	0.054	2.546	0.528	0.002	3.8	12.5	22.42	47.5	0.47	17.9	290.89	4	13.940

Tabel 20. Tabel perhitungan pada variasi arus listrik dengan I = 1,15 A dari tabel 6

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air (K)	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	305.57	299.03	302.30	6.54	5.861	5.666	0.03	323.798	314.758	1.38	111.052	109.294	0.27	0.053	2.473	0.481	0.002	0.78	2.5	8.55	1.95	4.39	25.3	298.27	2.73	9.514
20	304.89	297.18	301.03	7.71	5.840	5.611	0.03	322.844	312.255	1.37	110.852	108.755	0.27	0.053	2.457	0.486	0.002	0.78	2.5	7.85	1.95	4.03	24.9	297.92	0.35	1.220
30	304.78	296.74	300.76	8.04	5.837	5.598	0.03	322.690	311.663	1.37	110.819	108.627	0.27	0.053	2.453	0.488	0.002	0.78	2.5	7.66	1.95	3.93	24.2	297.23	0.69	2.405
40	304.55	295.76	300.15	8.79	5.830	5.569	0.03	322.369	310.349	1.37	110.752	108.342	0.27	0.053	2.446	0.490	0.002	0.78	2.5	7.22	1.95	3.70	23.4	296.36	0.87	3.032
50	304.44	295.50	299.97	8.94	5.827	5.561	0.03	322.215	310.002	1.37	110.719	108.267	0.27	0.053	2.444	0.491	0.002	0.78	2.5	7.13	1.95	3.66	22.6	295.58	0.78	2.718
60	304.32	294.89	299.60	9.43	5.823	5.543	0.03	322.047	309.189	1.36	110.684	108.090	0.28	0.053	2.439	0.492	0.002	0.78	2.5	6.84	1.95	3.51	21.5	294.54	1.04	3.624

Tabel 21. Tabel perhitungan pada variasi arus listrik dengan I = 2,33 A dari tabel 7

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air (K)	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	313.49	294.78	304.13	18.71	6.100	5.540	0.03	335.148	309.043	1.40	113.422	108.059	0.29	0.054	2.496	0.513	0.002	2.2	6.9	19.07	15.18	1.26	22.9	295.92	5.08	17.704
20	313.27	293.15	303.21	20.12	6.093	5.492	0.03	334.826	306.884	1.39	113.355	107.588	0.29	0.053	2.484	0.513	0.002	2.2	6.9	18.13	15.18	1.19	21	294.02	1.9	6.622
30	312.70	290.97	301.83	21.73	6.076	5.428	0.03	333.996	304.025	1.38	113.183	106.961	0.29	0.053	2.467	0.512	0.002	2.2	6.9	17.03	15.18	1.12	19.6	292.63	1.39	4.844
40	312.25	289.88	301.06	22.56	6.062	5.396	0.03	333.342	302.608	1.36	113.047	106.648	0.28	0.053	2.437	0.507	0.002	2.2	6.9	16.33	15.18	1.08	16.7	289.68	2.95	10.281
50	312.02	288.80	300.41	23.22	6.055	5.365	0.03	333.008	301.212	1.37	112.977	106.340	0.29	0.053	2.449	0.511	0.002	2.2	6.9	16.00	15.18	1.05	13	286.03	3.65	12.720
60	311.68	287.49	299.58	24.19	6.045	5.326	0.03	332.515	299.530	1.36	112.875	105.966	0.29	0.053	2.439	0.511	0.002	2.2	6.9	15.33	15.18	1.01	10.6	283.6	2.43	8.469

Tabel 22. Tabel perhitungan pada variasi arus listrik dengan I = 4,5 A dari tabel 8

Waktu (t) (menit)	TH (K)	TC (K)	Tavg (K)	ΔT (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	Z	I Ampere	V Volt	Qc Watt	Pin Watt	COP	T air (K)	T air (K)	ΔT air (K)	Q actual Watt
10	320.74	293.80	307.27	26.94	6.320	5.511	0.03	345.923	307.742	1.42	115.649	107.775	0.29	0.054	2.535	0.523	0.002	3.8	12.5	27.61	47.5	0.58	21.1	294.1	7.9	27.531
20	320.51	291.30	305.90	29.21	6.313	5.438	0.03	345.576	304.456	1.41	115.577	107.056	0.29	0.054	2.518	0.522	0.002	3.8	12.5	25.93	47.5	0.55	18.7	291.67	2.43	8.469
30	319.72	288.91	304.31	30.81	6.289	5.368	0.03	344.385	301.354	1.40	115.332	106.371	0.29	0.053	2.498	0.520	0.002	3.8	12.5	24.66	47.5	0.52	15.5	288.46	3.21	11.187
40	318.93	286.74	302.83	32.19	6.265	5.305	0.03	343.199	298.572	1.39	115.087	105.752	0.29	0.053	2.480	0.519	0.002	3.8	12.5	23.55	47.5	0.50	12.7	285.68	2.78	9.688
50	318.47	285.21	301.84	33.26	6.251	5.260	0.03	342.510	296.629	1.38	114.945	105.317	0.29	0.053	2.467	0.518	0.002	3.8	12.5	22.71	47.5	0.48	11.2	284.21	1.47	5.123
60	317.23	283.68	300.45	33.55	6.213	5.216	0.03	340.660	294.703	1.37	114.563	104.883	0.29	0.053	2.450	0.516	0.002	3.8	12.5	22.30	47.5	0.47	9.9	282.9	1.31	4.565

Tabel 23. Tabel perhitungan pada variasi menggunakan solar sel dengan T lingkungan = 30⁰ C dari tabel 9

Waktu (t)	TH	TC	Tavg	ΔT	Smth	Smtc	Sm	Rmth	Rmtc	Rm	Kmth	Kmtc	Km	Snew	Rnew	Knew	Z	I	V	Qc	Pin	COP	T air	T air	ΔT air	Q actual
(menit)	(K)	(K)	(K)	(K)	V/K	V/K	V/K	ohm	ohm	ohm	W/K	W/K	W/K	V/K	ohm	W/K		Ampere	Volt	Watt	Watt			(K)	(K)	Watt
10	319.60	293.69	306.64	25.91	6.285	5.508	0.03	344.204	307.597	1.41	115.294	107.744	0.29	0.054	2.527	0.521	0.002	3.75	11.8	27.86	44.25	0.63	22.5	295.49	4.51	15.717
20	318.70	292.82	305.76	25.88	6.258	5.482	0.03	342.854	306.449	1.41	115.016	107.493	0.29	0.054	2.516	0.520	0.002	3.8	11.9	28.04	45.22	0.62	17.4	290.36	5.13	17.878
30	320.40	290.21	305.30	30.19	6.310	5.406	0.03	345.410	303.036	1.40	115.543	106.743	0.29	0.054	2.511	0.521	0.002	4.02	12.7	26.47	51.05	0.52	14.9	287.94	2.42	8.434
40	311.23	295.22	303.22	16.01	6.031	5.553	0.03	331.864	309.628	1.39	112.739	108.186	0.28	0.053	2.484	0.509	0.002	0.84	3.2	4.23	2.688	1.57	14.4	287.42	0.52	1.812
50	319.38	289.45	304.41	29.93	6.279	5.384	0.03	343.874	302.052	1.40	115.226	106.525	0.29	0.054	2.499	0.520	0.002	3.38	11.14	22.50	37.65	0.60	14.3	287.33	0.09	0.314
60	318.93	289.12	304.02	29.81	6.265	5.374	0.03	343.199	301.625	1.39	115.087	106.431	0.29	0.053	2.495	0.519	0.002	3.56	11.31	23.75	40.26	0.59	11.4	284.38	2.95	10.281

Tabel 24. Tabel perhitungan pada variasi menggunakan solar sel dengan T lingkungan = 28⁰ C dari tabel 10

Waktu (t)	TH	TC	Tavg	ΔT	Smth	Smtc	Sm	Rmth	Rmtc	Rm	Kmth	Kmtc	Km	Snew	Rnew	Knew	Z	I	V	Qc	Pin	COP	T air	T air	ΔT air	Q actual
(menit)	(K)	(K)	(K)	(K)	V/K	V/K	V/K	ohm	ohm	ohm	W/K	W/K	W/K	V/K	ohm	W/K		Ampere	Volt	Watt	Watt			(K)	(K)	Watt
10	319.15	295.00	307.07	24.15	6.272	5.546	0.03	343.529	309.335	1.42	115.155	108.122	0.29	0.054	2.533	0.521	0.002	3.19	11	25.10	35.09	0.72	22.8	295.84	4.16	14.498
20	317.34	291.19	304.26	26.15	6.217	5.434	0.03	340.824	304.312	1.40	114.597	107.024	0.29	0.054	2.497	0.518	0.002	2.95	9.8	21.55	28.91	0.75	20.6	293.58	2.26	7.876
30	308.17	292.50	300.33	15.67	5.939	5.473	0.03	327.476	306.028	1.37	111.824	107.401	0.28	0.053	2.448	0.505	0.002	1.56	5.4	13.39	8.424	1.59	19.2	292.02	1.56	5.437
40	308.11	291.84	299.95	16.22	5.937	5.453	0.03	327.385	305.162	1.37	111.805	107.211	0.28	0.053	2.451	0.507	0.002	1.33	4.8	10.31	6.384	1.62	17.6	290.63	1.39	4.844
50	312.93	288.25	300.59	24.68	6.083	5.349	0.03	334.331	300.504	1.37	113.252	106.182	0.29	0.053	2.452	0.512	0.002	3.15	10.58	23.50	33.33	0.71	16.2	289.16	1.47	5.123
60	312.59	287.93	300.26	24.66	6.072	5.339	0.03	333.836	300.094	1.37	113.149	106.091	0.29	0.053	2.448	0.512	0.002	3.05	10.43	22.69	31.81	0.71	12.4	285.42	3.74	13.034

Tabel 25. Tabel perhitungan pada variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 30⁰ C dari tabel 11

Waktu (t)	TH	TC	Tavg	ΔT	Smth	Smtc	Sm	Rmth	Rmtc	Rm	Kmth	Kmtc	Km	Snew	Rnew	Knew	Z	I	V	Qc	Pin	COP	T air	T air	ΔT air	Q actual
(menit)	(K)	(K)	(K)	(K)	V/K	V/K	V/K	ohm	ohm	ohm	W/K	W/K	W/K	V/K	ohm	W/K		Ampere	Volt	Watt	Watt			(K)	(K)	Watt
10	319.83	291.84	305.83	27.99	6.293	5.453	0.03	344.551	305.162	1.41	115.366	107.211	0.29	0.054	2.517	0.521	0.002	3.8	12.5	26.71	47.5	0.56	21	294.02	5.98	20.840
20	318.93	288.58	303.75	30.35	6.265	5.358	0.03	343.199	300.929	1.39	115.087	106.277	0.29	0.053	2.491	0.519	0.002	3.8	12.5	24.87	47.5	0.52	18.8	291.76	2.26	7.876
30	318.02	287.82	302.92	30.20	6.237	5.336	0.03	341.837	299.952	1.39	114.806	106.060	0.29	0.053	2.481	0.518	0.002	3.8	12.5	24.83	47.5	0.52	14.3	287.25	4.51	15.717
40	317.57	284.99	301.28	32.58	6.224	5.254	0.03	341.166	296.351	1.38	114.667	105.254	0.29	0.053	2.460	0.517	0.002	3.8	12.5	23.05	47.5	0.49	11.5	284.47	2.78	9.688
50	317.23	284.01	300.62	33.22	6.213	5.226	0.03	340.660	295.117	1.37	114.563	104.976	0.29	0.053	2.452	0.516	0.002	3.8	12.5	22.54	47.5	0.47	10.7	283.69	0.78	2.718
60	316.55	283.57	300.06	32.98	6.193	5.213	0.03	339.651	294.565	1.37	114.354	104.852	0.29	0.053	2.445	0.515	0.002	3.8	12.5	22.60	47.5	0.48	9.82	282.82	0.87	3.032

Tabel 26. Tabel perhitungan pada variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 31,5⁰ C dari tabel 12

Waktu (t)	TH	TC	Tavg	ΔT	Smth	Smtc	Sm	Rmth	Rmtc	Rm	Kmth	Kmtc	Km	Snew	Rnew	Knew	Z	I	V	Qc	Pin	COP	T air	T air	ΔT air	Q actual
(menit)	(K)	(K)	(K)	(K)	V/K	V/K	V/K	ohm	ohm	ohm	W/K	W/K	W/K	V/K	ohm	W/K		Ampere	Volt	Watt	Watt			(K)	(K)	Watt
10	322.89	293.58	308.23	29.31	6.386	5.505	0.03	349.190	307.452	1.42	116.3211	107.7119	0.29	0.054	2.547	0.525	0.002	3.8	12.5	26.23	47.5	0.55	22.2	295.23	4.77	16.623
20	321.53	289.88	305.70	31.65	6.344	5.396	0.03	347.120	302.608	1.41	115.8950	106.6485	0.29	0.054	2.516	0.523	0.002	3.8	12.5	24.34	47.5	0.51	19.3	292.28	2.95	10.281
30	320.62	288.61	304.61	32.01	6.317	5.359	0.03	345.742	300.968	1.40	115.6112	106.2853	0.29	0.054	2.502	0.521	0.002	3.8	12.5	23.94	47.5	0.50	15.4	288.37	3.91	13.626
40	319.49	286.18	302.83	33.31	6.282	5.288	0.03	344.039	297.859	1.39	115.2602	105.5926	0.29	0.053	2.480	0.519	0.002	3.8	12.5	22.83	47.5	0.48	12.3	285.25	3.12	10.873
50	318.13	284.44	301.28	33.69	6.241	5.238	0.03	342.002	295.658	1.38	114.8398	105.0983	0.29	0.053	2.461	0.517	0.002	3.8	12.5	22.35	47.5	0.47	11.1	284.12	1.13	3.938
60	317.68	284.12	300.90	33.56	6.227	5.229	0.03	341.330	295.255	1.37	114.7012	105.0076	0.29	0.053	2.456	0.517	0.002	3.8	12.5	22.37	47.5	0.47	10.8	283.77	0.35	1.220

Tabel 27. Tabel perhitungan pada variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 33⁰ C dari tabel 13

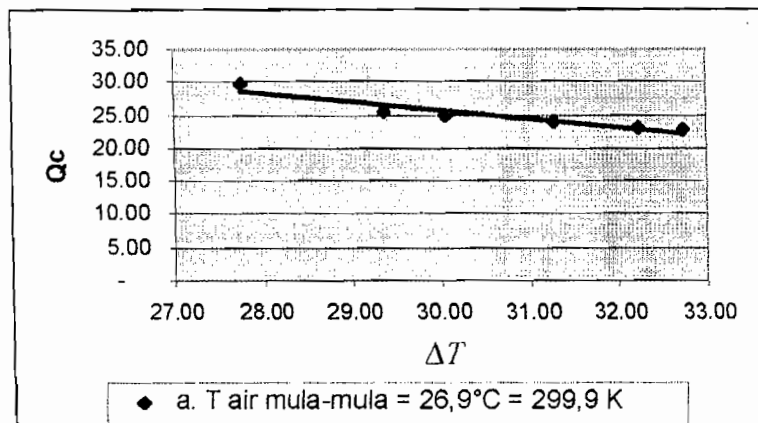
Waktu (t)	TH	TC	Tavg	T	Smth	Smtc	Sm	Rmth	Rmtc	Rm	Kmth	Kmtc	Km	Snew	Rnew	Knew	Z	I	V	Qc	Pin	COP	T air	T air	ΔT air	Q actual
(menit)	(K)	(K)	(K)	(K)	V/K	V/K	V/K	ohm	ohm	ohm	W/K	W/K	W/K	V/K	ohm	W/K		Ampere	Volt	Watt	Watt			(K)	(K)	Watt
10	323.45	294.02	308.73	29.43	6.403	5.517	0.03	350.046	308.034	1.43	116.497	107.839	0.29	0.054	2.553	0.526	0.002	3.8	12.5	26.23	47.5	0.55	22.6	295.58	4.42	15.404
20	321.53	291.30	306.41	30.23	6.344	5.438	0.03	347.120	304.456	1.41	115.895	107.056	0.29	0.054	2.524	0.523	0.002	3.8	12.5	25.36	47.5	0.53	19.8	292.8	2.78	9.688
30	320.62	288.91	304.76	31.71	6.317	5.368	0.03	345.742	301.354	1.40	115.611	106.371	0.29	0.054	2.504	0.521	0.002	3.8	12.5	24.16	47.5	0.51	16	288.98	3.82	13.313
40	320.06	286.62	303.34	33.44	6.300	5.301	0.03	344.897	298.419	1.39	115.437	105.718	0.29	0.053	2.486	0.520	0.002	3.8	12.5	22.83	47.5	0.48	13.1	286.12	2.86	9.967
50	319.49	285.42	302.45	34.07	6.282	5.266	0.03	344.039	296.895	1.38	115.260	105.377	0.29	0.053	2.475	0.519	0.002	3.8	12.5	22.29	47.5	0.47	12.1	285.07	1.05	3.659
60	318.81	284.23	301.52	34.58	6.261	5.232	0.03	343.019	295.393	1.38	115.050	105.039	0.29	0.053	2.464	0.518	0.002	3.8	12.5	21.82	47.5	0.46	10.6	283.59	1.48	5.158

Tabel 28. Tabel perhitungan pada variasi T lingkungan dengan T lingkungan = 35,2⁰ C dari tabel 14

Waktu (t)	TH	TC	Tavg	T	Smth	Smtc	Sm	Rmth	Rmtc	Rm	Kmth	Kmtc	Km	Snew	Rnew	Knew	Z	I	V	Qc	Pin	COP	T air	T air	ΔT air	Q actual
(menit)	(K)	(K)	(K)	(K)	V/K	V/K	V/K	ohm	ohm	ohm	W/K	W/K	W/K	V/K	ohm	W/K		Ampere	Volt	Watt	Watt			(K)	(K)	Watt
10	324.36	294.87	309.61	29.49	6.431	5.543	0.03	351.442	309.162	1.43	116.784	108.085	0.30	0.054	2.564	0.528	0.002	3.8	12.5	26.32	47.5	0.55	22.8	295.84	4.66	16.240
20	323.34	292.06	307.70	31.28	6.400	5.460	0.03	349.878	305.450	1.42	116.463	107.274	0.29	0.054	2.541	0.525	0.002	3.8	12.5	24.88	47.5	0.52	19.9	292.89	2.95	10.281
30	321.75	289.45	305.60	32.30	6.351	5.384	0.03	347.454	302.052	1.41	115.964	106.525	0.29	0.054	2.514	0.523	0.002	3.8	12.5	23.90	47.5	0.50	17	290.02	2.87	10.002
40	320.96	286.84	303.90	34.12	6.327	5.308	0.03	346.256	298.699	1.39	115.717	105.780	0.29	0.053	2.493	0.521	0.002	3.8	12.5	22.48	47.5	0.47	13.4	286.38	3.64	12.685
50	320.40	285.75	303.07	34.65	6.310	5.276	0.03	345.410	297.313	1.39	115.543	105.470	0.29	0.053	2.483	0.520	0.002	3.8	12.5	22.01	47.5	0.46	12.4	285.42	0.96	3.346
60	320.06	284.77	302.41	65.29	6.300	5.248	0.02	344.897	296.074	0.75	115.437	105.192	0.16	0.029	1.338	0.281	0.002	3.8	12.5	3.20	47.5	0.07	11.6	284.55	0.87	3.032

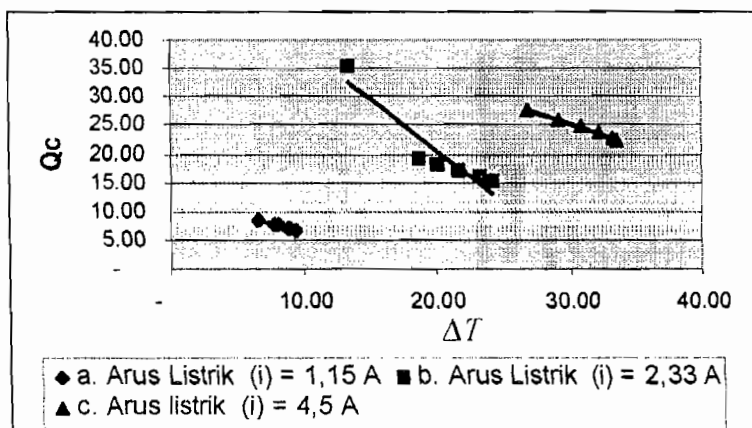
5.2 Grafik Karakteristik Modul Termoelektrik

- a. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT)

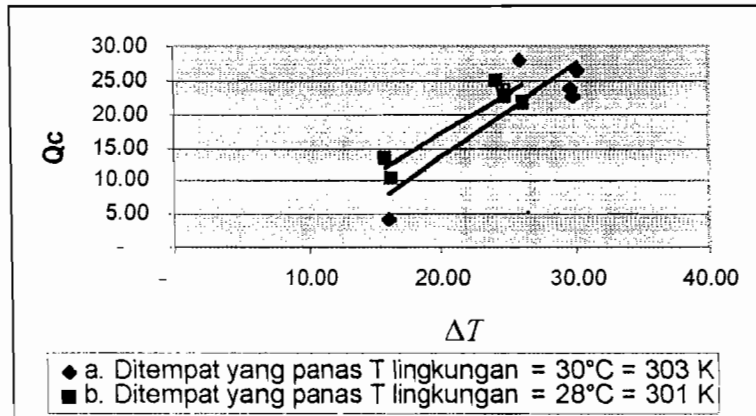


Gambar 5. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi T air dari tabel 15

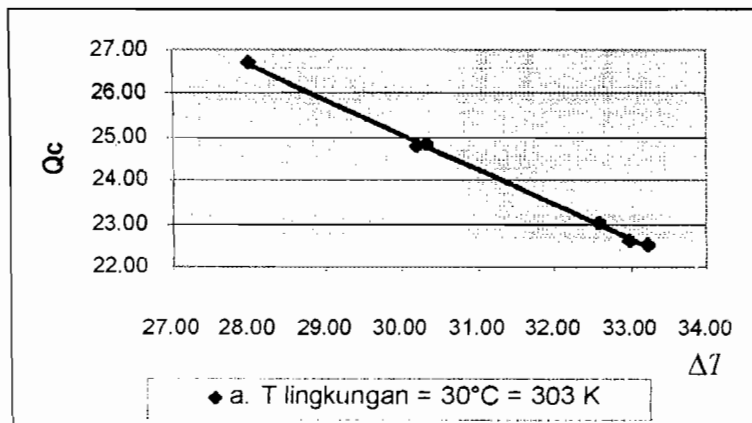
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T air, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 6. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22



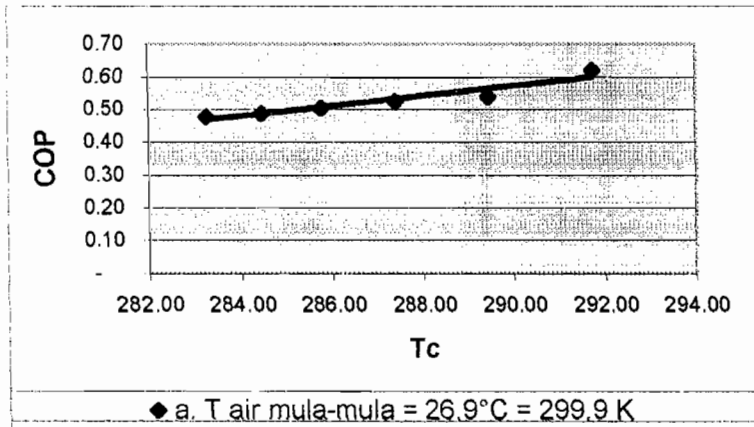
Gambar 7. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 22, 23



Gambar 8. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

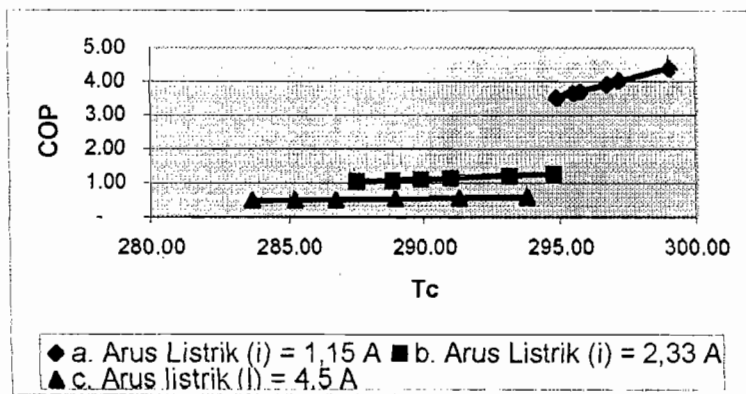
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

b. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi dingin (T_c)

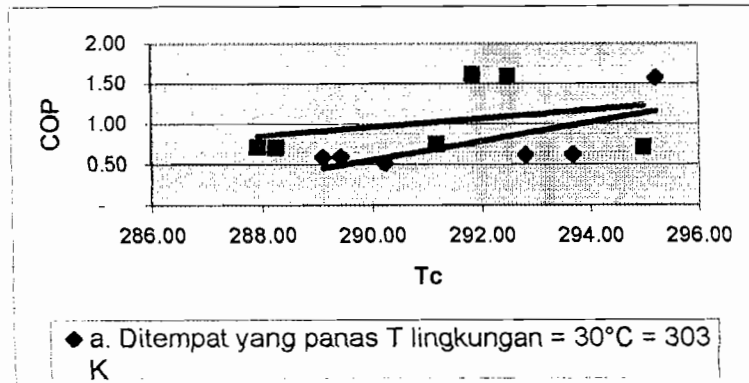


Gambar 9. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi T air dari tabel 15

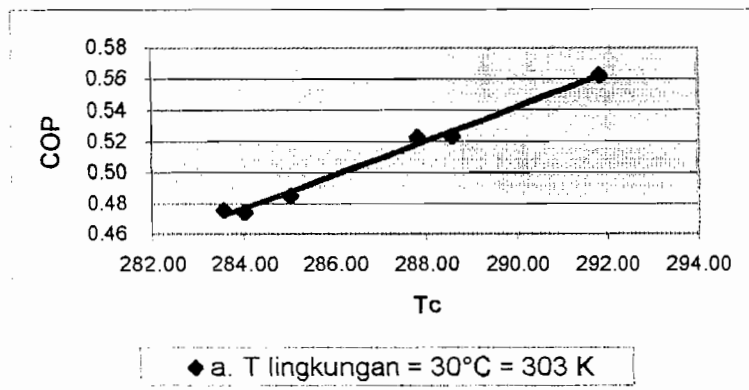
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T air, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 10. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22



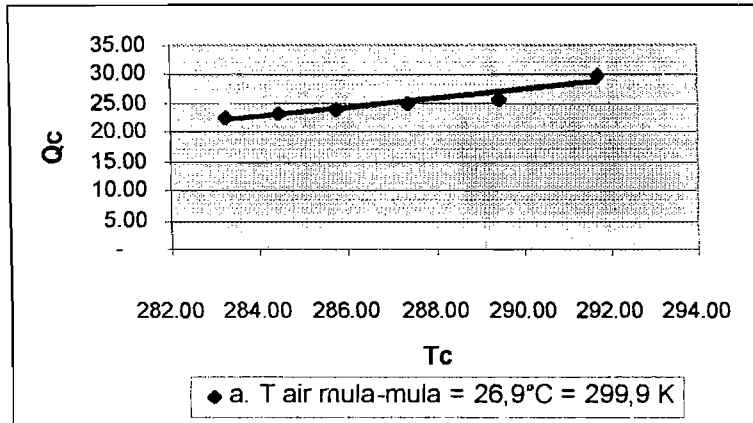
Gambar 11. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 23, 24



Gambar 12. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

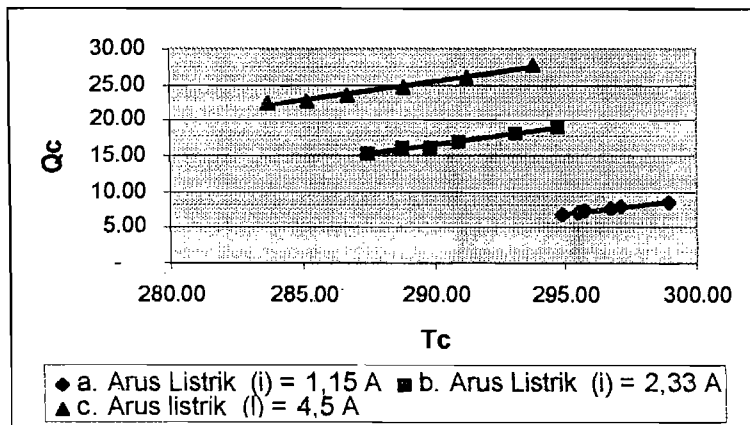
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

c. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan temperatur sisi dingin (T_c)

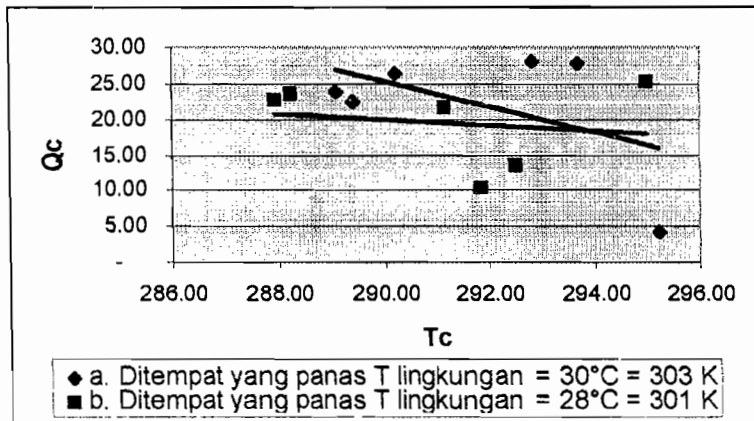


Gambar 13. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi T air dari tabel 15

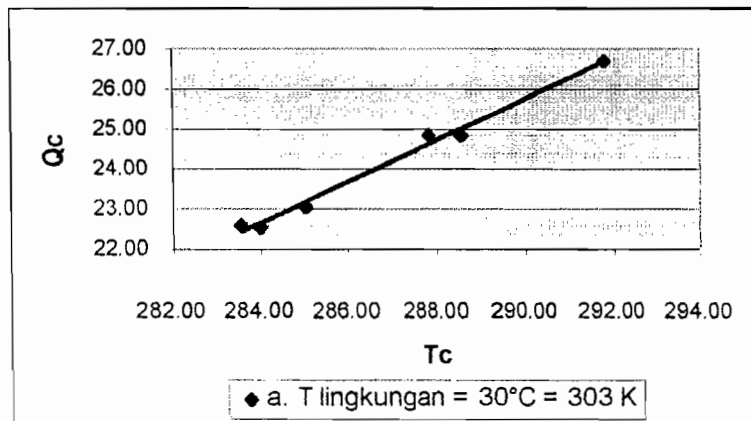
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T_{air} , maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 14. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22



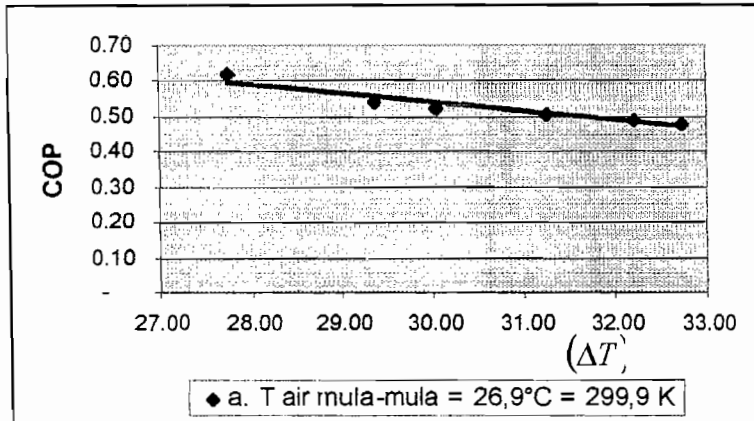
Gambar 15. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 23, 24



Gambar 16. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c) dan temperatur sisi dingin (T_c) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

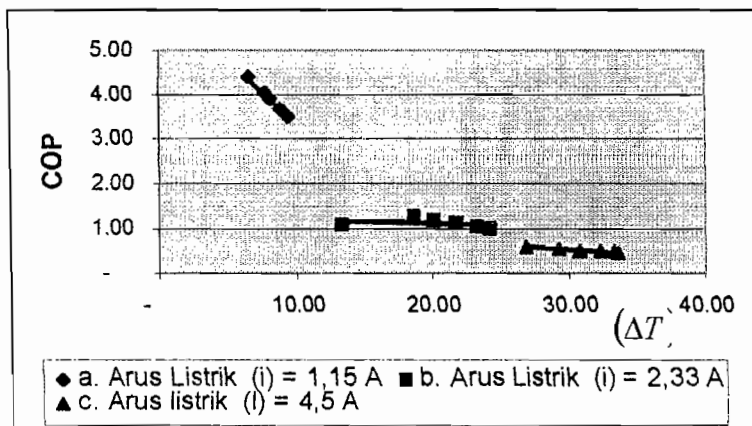
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

d. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT)

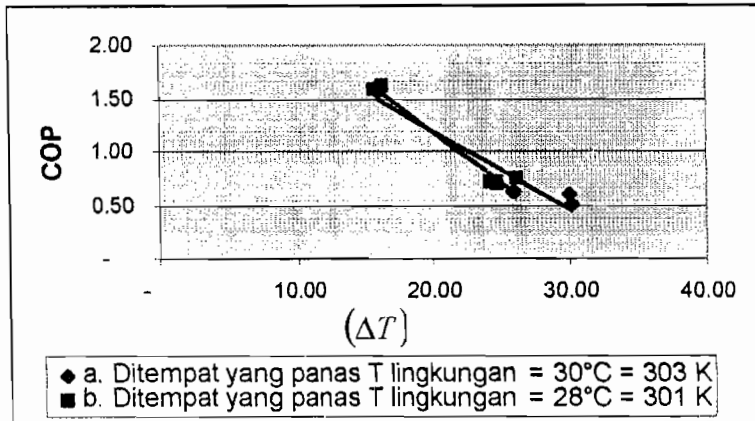


Gambar 17. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi T air dari tabel 15

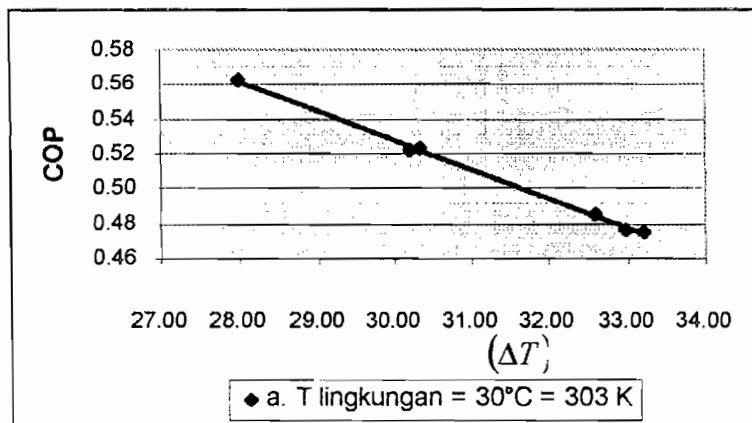
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T air, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 18. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22



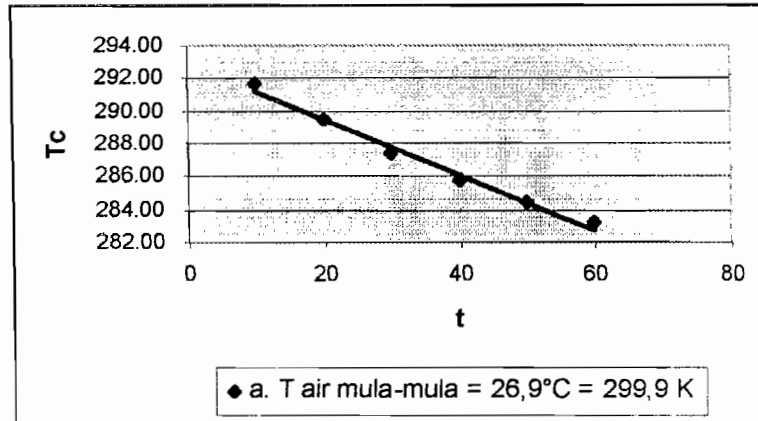
Gambar 19. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 23, 24



Gambar 20. Grafik hubungan koefisien unjuk kerja (COP) dan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

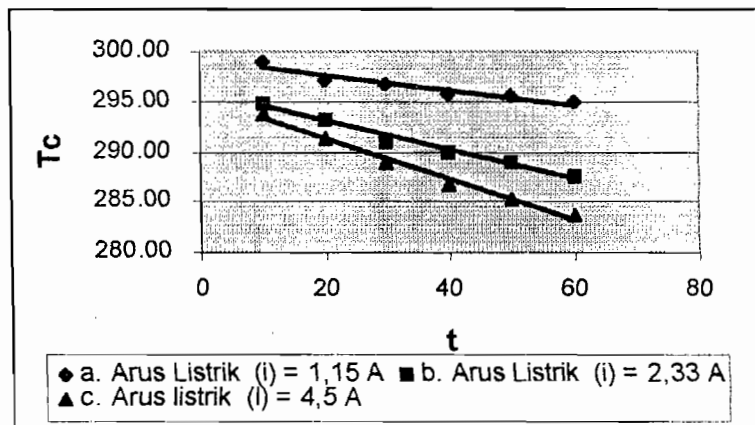
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data di variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

e. Grafik hubungan temperatur sisi dingin (T_c) dan Waktu (t)

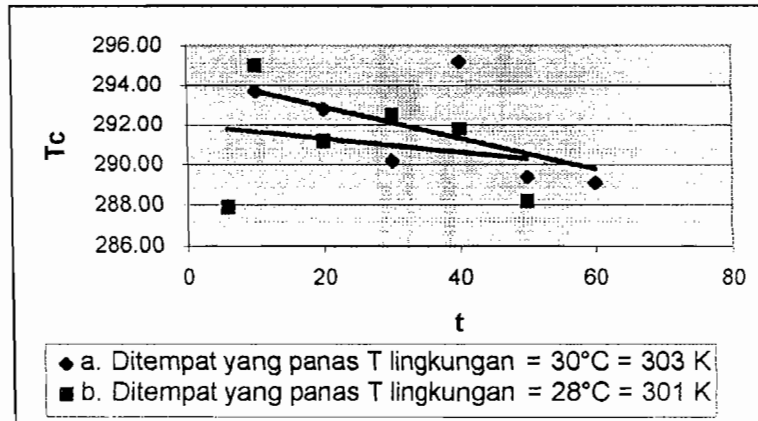


Gambar 21. Grafik Hubungan temperatur sisi dingin (T_c) dan Waktu (t) pada variasi T air dari tabel 15

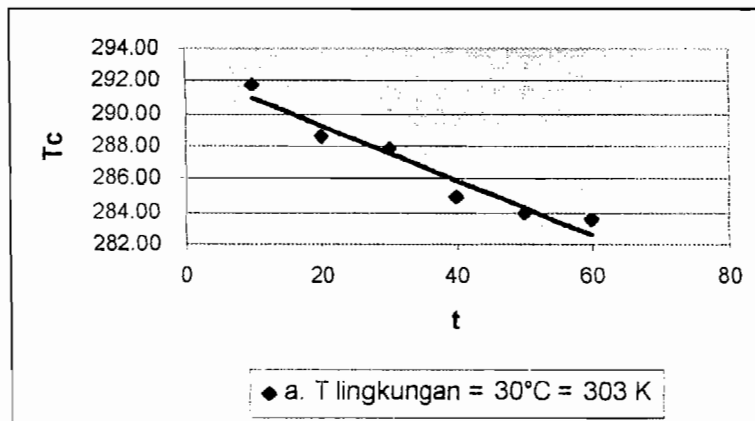
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T air, maka garafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 22. Grafik Hubungan temperatur sisi dingin (T_c) dan Waktu (t) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22



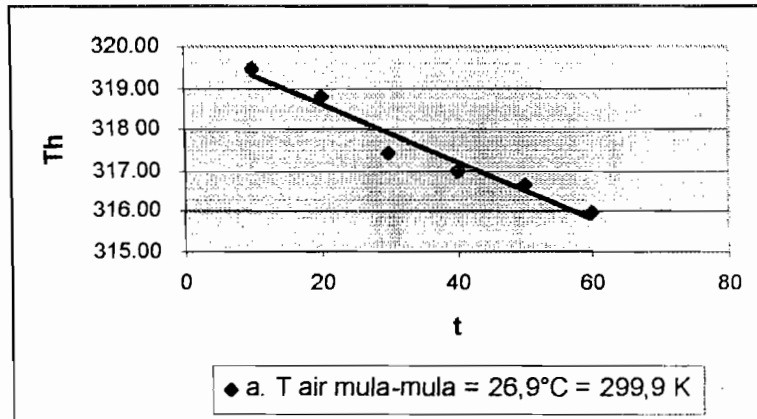
Gambar 23. Grafik Hubungan temperatur sisi dingin (T_c) dan Waktu (t) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 23, 24



Gambar 24. Grafik Hubungan temperatur sisi dingin (T_c) dan Waktu (t) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

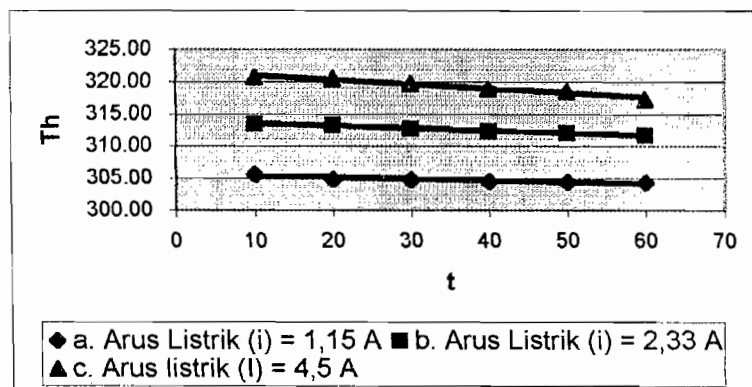
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

f. Grafik hubungan temperatur sisi panas (T_h) dan waktu (t)



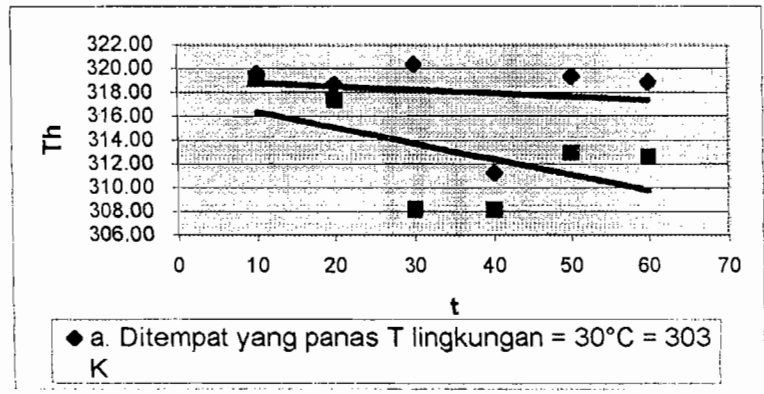
Gambar 25. Grafik Hubungan temperatur sisi panas (T_h) dan Waktu (t) pada variasi T air dari tabel 15

Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T air, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

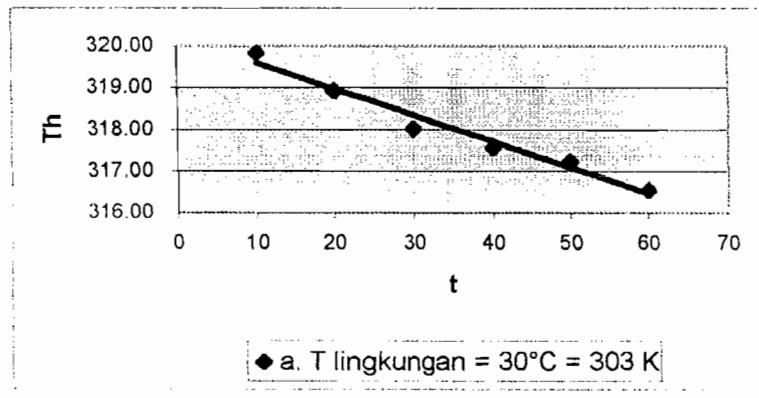


Gambar 26. Grafik Hubungan temperatur sisi Panas (T_h) dan Waktu (t) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22





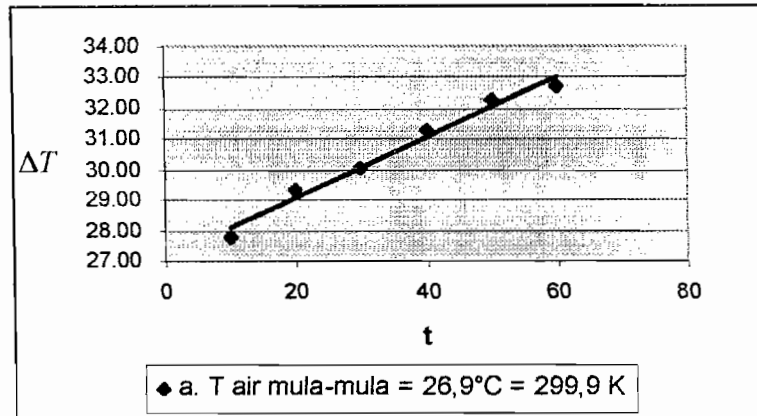
Gambar 27. Grafik Hubungan temperatur sisi panas (T_h) dan Waktu (t) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 23, 24



Gambar 28. Grafik Hubungan temperatur sisi panas (T_h) dan Waktu (t) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

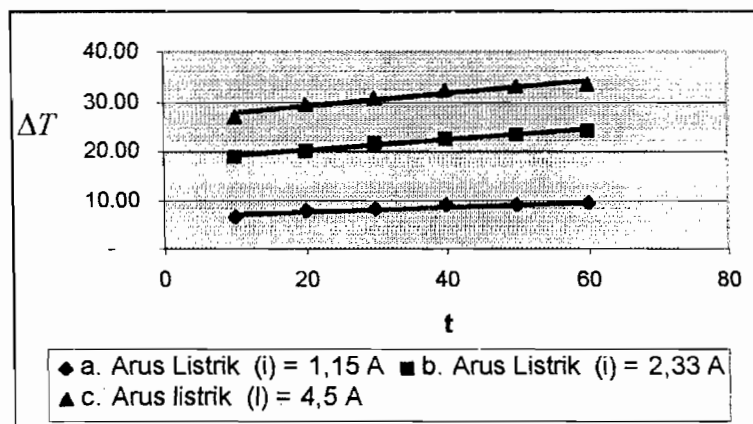
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

g. Grafik hubungan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) dan waktu (t)

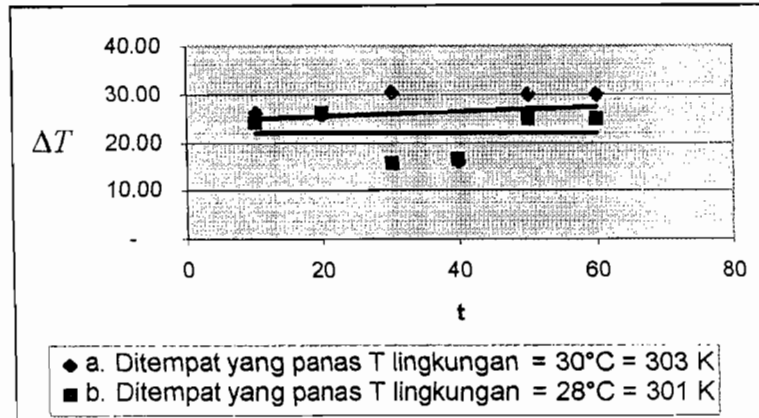


Gambar 29. Grafik hubungan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) dan waktu (t) pada variasi T air dari tabel 15

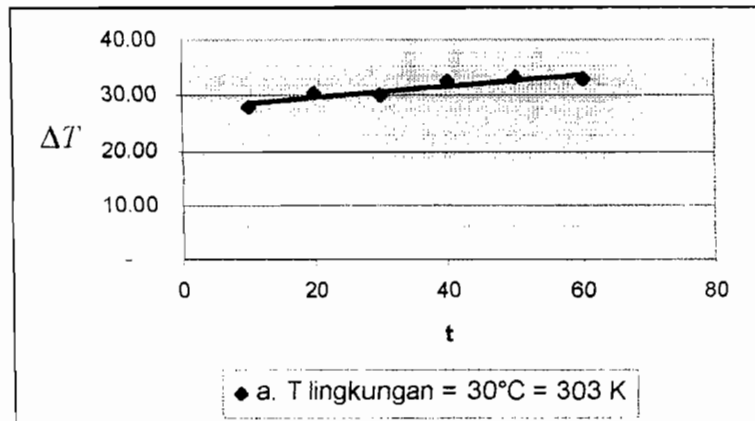
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T air, maka garafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 30. Grafik hubungan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) dan waktu (t) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22



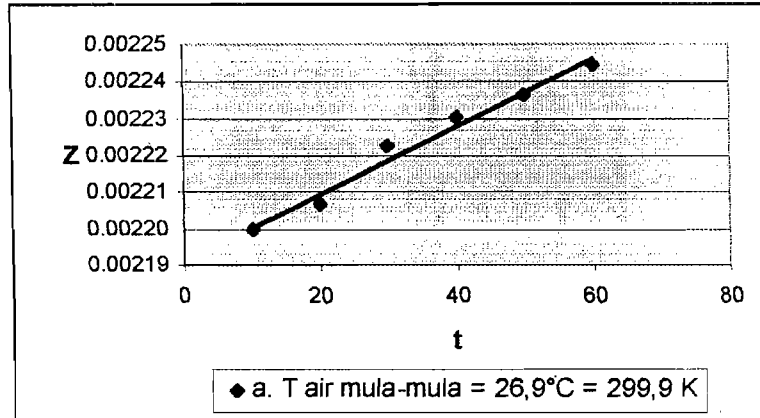
Gambar 31. Grafik hubungan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) dan waktu (t) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 23, 24



Gambar 32. Grafik hubungan beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) dan waktu (t) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

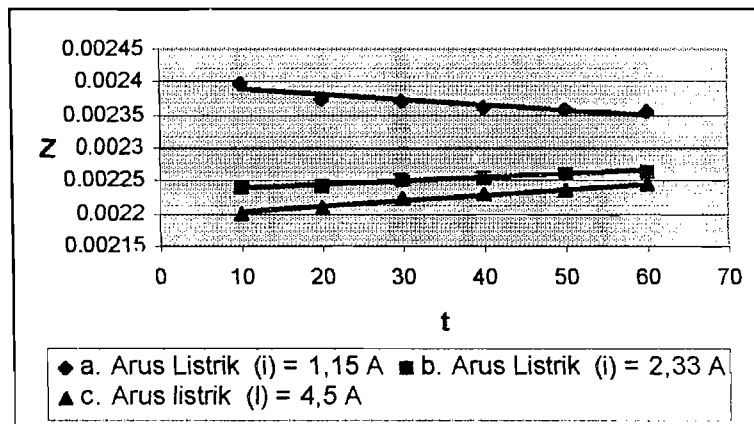
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.

h. Grafik hubungan *figur of merit* (Z) dan waktu (t)

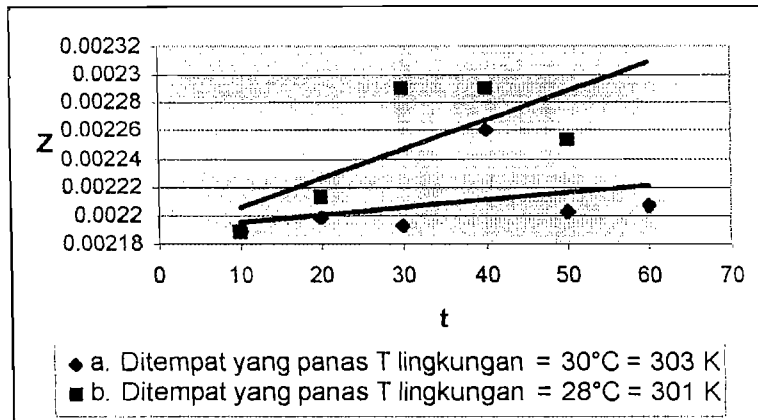


Gambar 33. Grafik hubungan *figur of merit* (Z) dan waktu (t) pada variasi T air dari tabel 15

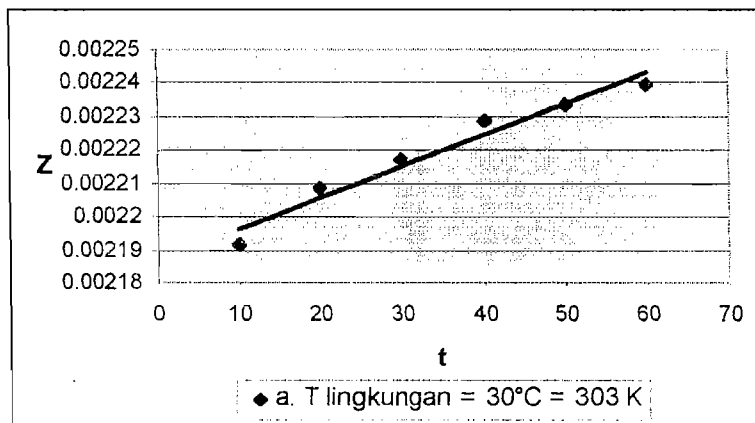
Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T air, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 34. Grafik hubungan *figur of merit* (Z) dan waktu (t) pada variasi arus listrik dari tabel 20, 21, 22

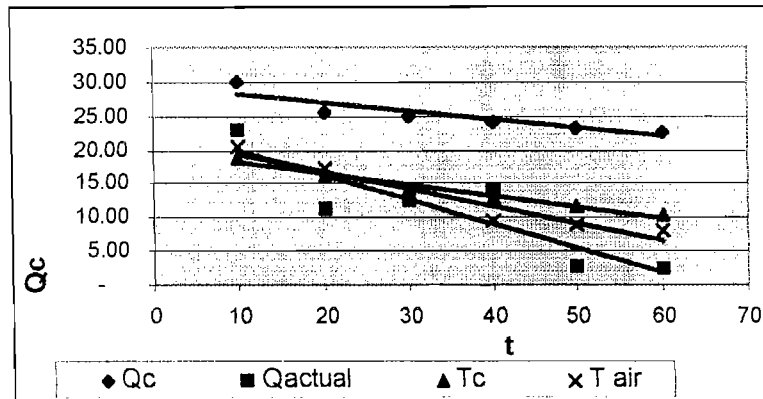


Gambar 35. Grafik hubungan *figur of merit* (Z) dan waktu (t) pada variasi menggunakan solar sel dari tabel 23, 24

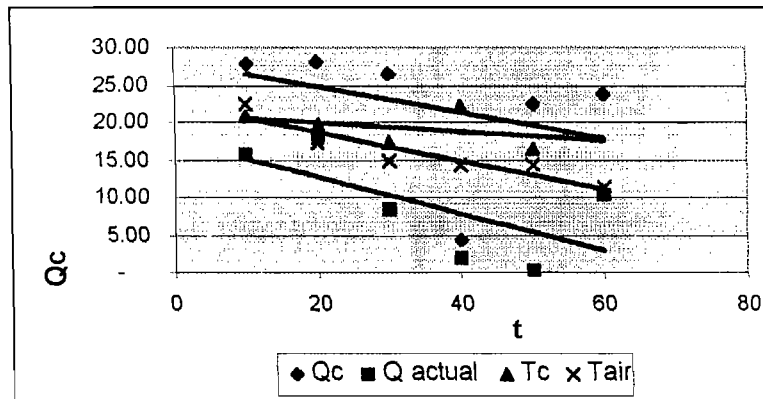


Gambar 36. Grafik hubungan *figur of merit* (Z) dan waktu (t) pada variasi T lingkungan dari tabel 25

Grafik di atas sudah mewakili dari data-data si variasi T lingkungan, maka grafik yang lain tidak perlu sebab ada kesamaan.



Gambar 37. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c), Q_{actual} , temperatur air (T_c), temperatur air (T_{air}) pada variasi $T_{air} = 26,9^{\circ}C$ dari tabel 15



Gambar 38. Grafik hubungan kapasitas pendinginan (Q_c), Q_{actual} , temperatur air (T_c), temperatur air (T_{air}) pada variasi menggunakan solar sel dengan $T_{lingkungan} = 30^{\circ}C$ dari tabel 23

Pada kedua grafik di atas mewakili dari data-data yang ada sebab keseluruhannya menunjukkan kemiripan pada bentuk grafik maka yang lainnya tidak perlu di buat grafik.

5.3 Analisa Data

- a. Gambar 5, 6, 8 menunjukkan bahwa semakin besar beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) maka kapasitas pendinginan (Q_c) akan turun. Sebab semakin kecil beda temperatur sisi panas – sisi dingin (ΔT) semakin besar kapasitas pendinginan yang didapat. Pada gambar 7 menunjukkan semakin besar beda temperatur sisi panas – sisi dingin (ΔT) maka semakin besar pula kapasitas pendinginan (Q_c). Hal ini disebabkan jika tegangan dan arus masukan itu kecil maka kerja TEC optimal sehingga menghasilkan kapasitas pendinginan yang besar (Q_c) tetapi untuk mencapai pendinginan normal dibutuhkan waktu yang lama. Pendinginan normal antara suhu $15^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C}$.
- b. Pada gambar 9, 10, 11, 12 grafik menunjukkan jika temperatur sisi dingin (T_c) semakin besar dalam arti suhunya turun, maka koefisien unjuk kerja (COP) akan naik.
- c. Pada gambar 13, 14, 16 grafik menunjukkan jika temperatur sisi dingin (T_c) semakin besar maka kapasitas pendinginan (Q_c) akan semakin besar juga dalam arti suhunya turun. Pada gambar 15 terdapat kapasitas pendinginan (Q_c) yang alurnya naik turun sebab temperatur sisi dingin (T_c) yang naik turun pula. Ini dikarenakan arus yang masuk dan tegangan masuk stabil jadi kerja TEC-12706 tidak optimal dan akan berpengaruh terhadap temperatur sisi dingin (T_c) yang nantinya akan berpengaruh juga terhadap kapasitas pendinginan (Q_c).
- d. Gambar 17, 18, 19 dan 20 grafik menunjukkan jika beda temperatur sisi panas – sisi dingin (ΔT) semakin besar maka koefisien unjuk kerja (COP)

- akan turun. Hal ini dikarenakan beda temperatur sisi dingin- sisi panas (ΔT) akan berpengaruh terhadap kapasitas pendinginan. Jika beda temperatur sisi panas – sisi dingin (ΔT) semakin besar maka kapasitas pendinginan (Q_c) akan turun, ini dapat menunjukkan bahwa dengan kapasitas pendinginan (Q_c) yang turun maka koefisien unjuk kerja (COP) juga turun.
- e. Gambar 21, 22, 23, 24 menunjukkan jika waktu (t) semakin bertambah maka temperatur sisi dingin (T_c) akan semakin turun. Hal ini dikarenakan setiap penambahan waktu kerja termoelektrik semakin meningkat sehingga menghasilkan temperatur sisi dingin (T_c) semakin turun.
 - f. Gambar 25, 26, 27, 28 menunjukkan jika waktu bertambah maka temperatur sisi panas (T_h) semakin turun sebab kalor yang dilepas ke lingkungan semakin banyak serta pendinginan pada sisi panas yang baik.
 - g. Gambar 29, 30, 31, 32 menunjukkan semakin bertambah waktu (t) maka beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) semakin naik, sebab penurunan temperatur sisi dingin yang jelas terlihat sedangkan temperatur sisi panas yang penurunan yang sedikit demi sedikit sehingga beda temperatur sisi panas-sisi dingin sangat besar.
 - h. Gambar 33, 34, 35, 36 menunjukkan semakin bertambah waktu (t) maka *figur of merit* semakin besar, hal ini menunjukkan juga jika kerja termoelektrik yang optimal.
 - i. Gambar 37,38 menunjukkan semakin bertambahnya waktu (t) maka kapasitas pendinginan (Q_c), Q_{actual} , temperatur sisi dingin (T_c) dan Temperatur air (T_{air}) mengalami penurunan sebab semakin lamanya waktu termoelektrik lebih lama sehingga kerjanya pun semakin optimal.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

- a. Jika beda temperatur sisi panas – sisi dingin (ΔT) naik maka kapasitas pendinginannya (Q_c) turun.
- b. Jika temperatur sisi dingin (T_c) naik maka koefisien unjuk kerja (COP) akan naik juga.
- c. Jika temperatur sisi dingin (T_c) naik, maka kapasitas pendinginan (Q_c) akan naik juga.
- d. Jika beda temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) naik, maka koefisien unjuk kerja (COP) akan turun.
- e. Jika waktu (t) semakin bertambah maka temperatur sisi dingin (T_c) akan turun.
- f. Jika waktu (t) semakin bertambah maka temperatur sisi panas (T_H) akan turun.
- g. Jika waktu (t) semakin bertambah maka beda Temperatur sisi panas-sisi dingin (ΔT) akan bertambah naik.
- h. Jika waktu (t) semakin bertambah maka *figur of merit* akan naik.
- i. Jika waktu (t) semakin bertambah maka kapasitas pendinginan (Q_c), Q actual, temperatur sisi dingin (T_c) dan Temperatur air (T_{air}) akan turun.
- j. Semakin kecil arus dan tegangan masukan maka koefisien unjuk kerja (COP) akan semakin besar tetapi untuk mendapatkan temperatur dingin

normal pada termo elektrik yaitu $15-8^{\circ}$ akan lebih mudah membutuhkan waktu yang sama.

6.2. Saran

- a. Untuk mendapat kapasitas pendinginan (Q_c) dan koefisien unjuk kerja (COP) yang maksimal maka beda temperatur sisi panas – sisi dingin harus dibuat sekecil mungkin. Misalnya dengan menambah sistem pendingin pada sisi panas sehingga beda temperaturnya antara sisi dingin – sisi panas kecil.
- b. Dalam menggunakan solar sel sebaiknya digunakan juga penyimpan arus dan tegangan seperti aki kering supaya arus yang masuk stabil.
- c. Menggunakan alat-alat ukur yang lebih teliti supaya hasil penelitian lebih akurat.

6.3. Penutup

Dengan demikian Tugas Akhir ini saya buat. Penulis sangat memerlukan kritik dan saran untuk kemajuan penulis di kemudian kelak.

Semoga Tugas Akhir ini berguna bagi pembaca dan untuk perkembangan teknologi khususnya di bidang teknik mesin.

DAFTAR PUSTAKA

Brown, A.I. dan Marco, S.M.. Introduction to Heat Transfer. 3rd ed. (New York: McGraw Hill, 1958).

Buist, R.J. (May 12-14, 1980), A Simplified Method for Thermoelectric Heat Pump Optimization, Third International Conference on Thermoelectric Energy Conversion, Arlington, Texas.

Buist, R.J. (August 18-22, 1980), Universal Thermoelectric Design Curves, 15th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Seattle, Washington.

Hendricks, T.J., Buist, R.J. (March 1982), A Study of Thermoelectric Design Criteria for Maximizing Cool-Down Speed, Fourth International Conference on Thermoelectric Energy Conversion, Arlington, Texas.

Ritzer, Todd M., Lau, Paul G. dan Bogard, Andy D. (August 26-29, 1997), A Critical Evaluation of Today's Thermoelectric Modules, XVI International Conference on Thermoelectrics, Dresden, Germany.

Lampiran-Lampiran

A-9 SIFAT AIR

TABEL A-9-1 Sifat Air (Cair Jenuh)

°F	°C	c_p kJ/(kg·°C)	ρ kg/m ³	μ kg/m·s or Pa·s	k W/(m·°C)	Pr	$g\beta\rho^2c_p/\mu k$ 1/(m ³ ·°C)
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.17	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	45.56	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.2	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	965.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-5}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

Dari J.P. Holman, *Heat Transfer*, 5th ed. (New York : McGraw-Hill, 1981); diambil dari A.I. Brown, dan S.M. Marco, "Introduction to Heat Transfer." 3rd ed (New York: McGraw-Hill, 1958). Digunakan dengan izin penerbit.



UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI

TANGGAL : 12 Oktober 2005

MA Mhs. : Albert Iwan Sumantri

N
O
JUL : 995214050

Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik pada pendingin air

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

Isat Nasabah

ampiran ditradakan ⇒ cek daftar isi.

uran huruf dirapikan ⇒ pada Metoda penelitian

umber - sumber rumus

istat dirapikan pada grafik².

mulisan nama pengerang daftar pustaka



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

No : 358/TA/TM/FT-USD/X/2005
Hal : Ujian Pendadaran Tugas Akhir
Lamp : 1 (satu) Skripsi

Kepada
Yth. Bapak / Ibu

1.	Ir. YB. Lukiyanto, M.T.	Ketua Penguji
2.	Ir. FX. Agus Unggul Santosa	Sekretaris Penguji
3.	Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.	Anggota
4.		Anggota

Di tempat.

Dengan hormat,

Berhubung di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma akan mengadakan Ujian Pendadaran Tugas Akhir kami mohon Bapak / Ibu bersedia menjadi Tim Penguji yang akan di selenggarakan pada :

Nama : Albert Iwan Sumantri
NIM : 995214050

Hari / tgl : Rabu, 12 Oktober 2005
Tempat : Dekanat FT
Pukul : 10.00 WIB

Judul TA :

Karakteristik Modul Pendingin Termoelektrik pada pendingin air

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

Demikian permohonan kami, atas perhatiannya diucapkan terimakasih.

Yogyakarta, 5 Oktober 2005
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T.

