

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH TERMOELEKTRIK GENERATOR PADA  
CEROBONG MESIN PENGERING RAK TELUR**



**HABIBI ASHSHIDDIQ**

**10582 1608 15**

**RIDWAN SAID**

**10582 1607 15**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2019**

**ANALISIS PENGARUH TERMOELEKTRIK GENERATOR PADA  
CEROBONG MESIN PENGERING RAK TELUR**

**Skripsi**

Diajukan sebagai salah satu syarat

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan

Oleh :

**HABIBI ASHSHIDDIQ**

**10582 1608 15**

**RIDWAN SAID**

**10582 1607 15**

PADA

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**MAKASSAR**

**2019**



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**FAKULTAS TEKNIK**

**GEDUNG MENARA IQRA LT. 3**

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e\_mail: [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS PENGARUH TERMOELEKTRIK GENERATOR PADA CEROBONG MESIN PENGERING RAK TELUR**

Nama : 1. Habibi Ashshiddiq  
2. Ridwan Said

Stambuk : 1. 10582 1608 15  
2. 10582 1607 15

Makassar, 27 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Dr. Umar Katu, S.T.,M.T

Pembimbing II

Adriani, S.T., M.T.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro

Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



# UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

## FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e\_mail: [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Habibi Ashshiddiq** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1608 15 dan **Ridwan Said** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1607 15, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0004/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Selasa tanggal 25 Juni 2019.

Panitia Ujian :

Makassar, 23 Syawal 1440 H  
27 Juni 2019 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

b. Sekretaris : Anugrah, S.T.,M.M

3. Anggota : 1. Rizal Ahdiyati Duyo, S.T.,M.T

2. Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T


3. Antarisubhi, S.T.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

  
**Umar Katu, S.T.,M.T**

Pembimbing II

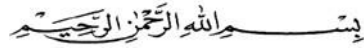
  
**Adriani, S.T., M.T.**

Dekan

  
**Dr. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.,IPM**

NBM : 855 500

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Pengaruh Termoelektrik Generator Pada Cerobong Mesin Pengering Rak Telur”. Tidak lupa pula penulis tuturkan shalawat serta salam kepada junjungan kita baginda Muhammad SAW., yang telah memberi suri tauladan atas umatnya.

Skripsi ini disusun guna melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Skripsi ini dibuat berdasarkan pada data yang penulis peroleh selama melakukan penelitian, baik data yang diperoleh dari studi literatur, hasil percobaan maupun hasil bimbingan dari dosen pembimbing.

Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Kedua orang tua, kakak serta keluarga yang telah memberikan bantuan baik berupa moral maupun materiel.
2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ibu Adriani, S.T.,M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Umar Katu, S.T., M.T selaku Pembimbing I dan Ibu Adriani, S.T.,M.T. selaku Pembimbing II yang telah memberikan waktu, arahan serta ilmunya selama membimbing penulis.
5. Para Staf dan Dosen yang telah membantu penulis selama melakukan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudara serta rekan-rekan Reaksi 2015 dan terkhususnya Teknik Listrik yang telah banyak membantu penulis selama menyelesaikan studi dan skripsi ini..

Akhir kata penulis sampaikan pula harapan semoga skripsi ini dapat memberi manfaat yang cukup berarti khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT. senantiasa selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Amiin.

*Billahi Fi Sabilil Haq Fastabiqul Khairat*

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Makassar, April 2019

Penulis

## ABSTRAK

Habibi Ashshiddiq dan Ridwan Said. Pemanfaatan Panas Cerobong Mesin Pengering Rak Telur Sebagai Energi Listrik Berbasis Generator Termoelektrik (dibimbing oleh Umar Katu dan Adriani).

Pembangkit daya termoelektrik (TEG) telah lama digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Ketika perbedaan temperatur terjadi antara dua material semi konduktor pada TEG, elemen termoelektrik ini akan menghasilkan perbedaan tegangan dan mengalirkan arus listrik yang dikenal dengan ‘efek Seebeck’. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi energi listrik dari modul TEG sebagai sumber energi alternatif dengan memanfaatkan panas cerobong dari suatu mesin pengering rak telur. Pengujian dilakukan dengan dua titik yaitu pada cerobong atas dan cerobong bawah, dengan menggunakan bahan bakar sekam padi. Pada cerobong atas menggunakan (8 TEG) dan cerobong bawah menggunakan (36 TEG). Hasil pengujian menunjukkan besar beda temperatur rata rata, Tegangan, arus keluaran dan efisiensi untuk cerobong Atas (8 TEG) nilai tertinggi rata-ratanya masing-masing yaitu; 33,8 °C, 16,79135 W, 2,3 V, 0,012 A, 1,40524 %. Dan hasil pengujian cerobong Bawah (36 TEG) besar beda temperatur rata rata, Tegangan, arus keluaran dan efisiensi nilai tertinggi rata-ratanya masing-masing yaitu; 93,1°C, 89,71824 W, 5,44 V, 0,012 A, 1,012106%. Hasil kinerja dari termoelektrik generator menunjukkan potensi yang cukup menjanjikan sebagai sumber energi alternatif. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan efisiensi yang dihasilkan dengan menggunakan rangkaian seri pada tiap cerobong atas dan bawah. Rangkaian seri pada modul TEG menghasilkan efisiensi untuk modul tunggal untuk cerobong atas memiliki efisiensi rata-rata tertinggi dengan nilai 1,405244% dan untuk cerobong bawah memiliki efisiensi rata-rata tertinggi sebesar 1,012106%.

Kata kunci: *Insinerator, Efek Seebeck, Generator Termoelektrik*

## ABSTRACT

Habibi Ashshiddiq dan Ridwan Said. Heat Utilization of Chimney Egg Rack Dryer Machine as Electric Energy Based on Thermoelectric Generator (dibimbing oleh Umar Katu dan Adriani).

Thermoelectric power plants (TEG) have long been used to produce electrical energy. When a temperature difference occurs between two semi-conductor materials on TEG, this thermoelectric element will produce a voltage difference and electric current flow known as the 'Seebeck effect'. This research was conducted to determine the potential of electrical energy from the TEG module as an alternative energy source by utilizing the chimney heat from an egg rack drying machine. Tests are carried out with two points, namely on the top chimney and lower chimney, using rice husk fuel. The upper chimney uses (8 TEG) and the lower chimney uses (36 TEG). The test results show the difference in average temperature, voltage, output current and efficiency for the Upper chimney (8 TEG), the highest average value, respectively; 33.8 oC, 16.79135 W, 2.3 V, 0.012 A, 1.40524%. And the results of the Lower Chimney test (36 TEG) of the average temperature difference, Voltage, output current and efficiency of the highest average value respectively are; 93,1oC, 89,71824 W, 5,44 V, 0,012 A, 1,012106%. The performance results of thermoelectric generators show a promising potential as an alternative energy source. This is because there is an increase in efficiency produced by using series in each top and bottom chimney. Series series in the TEG module produces efficiency for single modules for upper chimneys having the highest average efficiency with a value of 1.405244% and for the lower chimney having the highest average efficiency of 1.012106%.

Keywords: *Incinerator, Seebeck Effect, Thermoelectric Generator*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Batasan Masalah.....	4
E. Manfaat Penelitian .....	5
F. Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
A. Tinjauan Pustaka.....	7
B. Sejarah Termoelektrik.....	9
C. Efek Termoelektrik .....	11
1. Efek Seebeck .....	11
2. Efek Peltie .....	13
3. Efek Thomson .....	14
4. Efek Joule .....	15
5. Efek Konduksi .....	16
D. Parameter Penggunaan Modul Termoelektrik .....	16
E. fek-efek Perpindahan Panas Thermoelektrik .....	17

1. Perpindahan panas .....	17
a) Perpindahan Panas Konduksi .....	19
b) Perpindahan panas konveksi .....	22
c) Perpindahan panas Radiasi .....	25
2. Bilangan Reynolds .....	27
3. Bilangan Nussel .....	28
4. Bilangan Prandtl .....	29
F. Elemen termoelektrik .....	29
G. Parameter Penggunaan Modul termoelektrik .....	31
1. Modul Termoelektrik .....	32
a) Termoelektrik Generator (TEG) .....	32
b) Termoelektrik Cooling (TEC) .....	33
H. Efisiensi Termoelektrik .....	34
I. Perhitungan Termoelektrik .....	34
J. Rak Telur .....	36
K. Konsep Dasar Proses Pengerigan .....	36
L. Priode Pengerigan .....	39
1. Pengerig Alami .....	40
2. Pengerig Buatan .....	41
M. Alat Penukar Kalor .....	41
1. Aliran Co-current .....	42
2. Aliran Counter-Current .....	42

### BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan tempat Penelitian .....	43
B. Alat dan Bahan Penelitian .....	43
C. Instalasi TEG pada dudukan .....	48
D. Metode pengujian .....	51
E. Skema rancangan instalasi penujian dan sistem pengukuran .....	52
F. Metode pengumpulan data .....	54
G. Diagram alir penelitian .....	55

H. Rencana dan jadwal penelitian.....	56
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Analisa data dan perhitungan.....	57
B. Pembahasan.....	59
1. Temperatur Api rerata ( $T_{A\ avg}$ ).....	59
2. Panas yang diserap (QH).....	60
a. Cerobong Atas (8 TEG).....	61
b. Cerebong Bawah (36 TEG).....	62
3. efisiensi ( $\eta$ ).....	63
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan.....	67
B. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN.....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konduktifitas Termal Berbagai Bahan pada 0 °C .....	22
Tabel 2.2	Nilai koefisien perpindahan panas konveksi.....	25
Tabel 3.1	Rencana dan jadwal penelitian.....	56



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema ilustrasi efek seebeck .....	13
Gambar 2.2 Skema ilustrasi efek peltier .....	14
Gambar 2.3 Skema ilustrasi efek Thomson.....	15
Gambar 2.4 Skema perpindahan panas konduksi.....	21
Gambar 2.5 Skema perpindahan panas konveksi.....	23
Gambar 2.6 perpindahan panas radiasi.....	26
Gambar 2.7 Semikonduktor tipe n dan tipe p.....	30
Gambar 2.8 Termoelektrik generator .....	32
Gambar 2.9 Termoelektrik cooling .....	33
Gambar 2.10 Rak telur .....	36
Gambar 3.1 mesin pengering rak telur .....	43
Gambar 3.2 Timbangan digital.....	44
Gambar 3.3 Pengukuran temperatur digital .....	44
Gambar 3.4 Multimeter digital.....	45
Gambar 3.5 lampu led .....	45
Gambar 3.6 Power supply .....	46
Gambar 3.7 Dudukan TEG.....	46
Gambar 3.8 Heatsink.....	47
Gambar 3.9 Kipas.....	47
Gambar 3.10 Termal pasta .....	48
Gambar 3.11 Fom A dan Fom B .....	48
Gambar 3.12 Pemasangan TEG pada dudukan .....	59
Gambar 3.13 pemasangan matras dan heatsink pada dudukan TEG .....	49
Gambar 3.14 Dudukan TEG pada cerobong atas dan bawah insinerator .....	50
Gambar 3.15 Pemasangan kabel termokopel ke display.....	50
Gambar 3.16 Kabel TEG dihubungkan ke multimeter .....	51
Gambar 3.17 Rancangan instalasi pengujian .....	52
Gambar 3.18 Rangkaian modul corobong atas .....	53

Gambar 3.19 Rangkaian modul corobong bawah.....	53
Gambar 3.20 Diagram alir penelitian .....	55
Gambar 4.1 Temperatur Api rerata ( $T_A \text{ avg}$ ) pada cerobong atas dan bawah .....	59
Gambar 4.2 Panas yang dapat diserap oleh Termoelektrik Generator (TEG) .....	60
Gambar 4.3 Cerobong Atas, Delta T beda temperatur dan Delta V Tegangan.....	61
Gambar 4.4 Cerobong Bawah, Delta T beda temperatur dan Delta V Tegangan..	62
Gambar 4.5 Efisiensi .....	63



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Tabel Pengamatan ..... 70
Lampiran 2	Tabel Hasil Perhitungan ..... 80
Lampiran 3	Tabel Konduktivitas Thermal ..... 96
Lampiran 4	Gambar Proses Perancangan Alat ..... 97
Lampiran 5	Gambar Proses Pengambilan Data ..... 101



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Energi listrik bagi manusia di zaman moderen saat ini merupakan kebutuhan yang tidak bisa tergantikan. setiap aktifitas yang dilakukan tidak lepas dari peran energi listrik dalam rangka memudahkan segala pekerjaan. Di indonesia, produksi energi listrik cenderung masih memanfaatkan energi fosil khususnya batubara, minyak bumi dan gas alam sebagai bahan baku utamanya. Namun disisi lain, energi fosil merupakan energi yang takterbarukan yang sifatnya akan habis. Khususnya untuk bahan bakar minyak bumi, diperkirakan akan habis paling lambat pada akhir abad 21 dan batubara diprediksi akan habis kurang lebih 200 sam pai 300 tahun akan datang [1].

Salah satu solusi yang diwarkan untu meminimalisir tingkat penggunaan energi fosil dengan cara mencari sumber energi alternatif yang sifatnya terbarukan dan sifatnya ramah lingkungan. Ada beberapa sumber energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai membangtkkan energi listrik diantaranya : pertama, pembangkit listrik dengan kapasitas makro yang biasanya memanfaatkan air, uap, gas, nuklir, dan lain-lain. Kedua, pembangkit listrik kapasitas mikro yang salah satunya memanfaatkan energi panas. Energi panas tersebut antara lain berasal dari sinar matahari dan benda-benda yang melepaskan panas, seperti setrika, knalpot kendaraan bermotor, kompor pemanas, mesin pengering, dan lain sebagainya.



Walaupun pembangkit tersebut hanya berkapasitas mikro, namun pemakai yang maksimal dalam jangka panjang dapat membantu menghemat penggunaan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berkapasitas makro. Pembangkit listrik berkapasitas makro seharusnya digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik berdaya besar saja. Sedangkan untuk pemenuhan listrik berdaya kecil, seperti penerangan lampu, dapat memanfaatkan pembangkit listrik berkapasitas mikro.

Total energi listrik yang dibangkitkan oleh energi alternatif pada tahun 2011 adalah 21,8 TWh atau sekitar 12% dari total listrik yang dipasok sebesar 183,2 TWh. Pembangkit listrik berbahan bakar batubara, gas dan BBM menjadi tumpuan PLN dalam memproduksi listrik. ketiganya menyumbang 80% dari total listrik yang dibangkitkan. Sisanya disumbangkan oleh pembangkit terbarukan [2].

Pengembangan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) telah memperoleh dukungan pemerintah melalui peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor 39 tahun 2017 tentang pelaksanaan kegiatan fisik pemanfaatan energi baru dan terbarukan dan konservasi energi [3]. melalui regulasi resmi tersebut masyarakat luas bisa memanfaatkannya dalam rangka menjamin ketersediaan energi listrik.

Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa dikembangkan adalah mesin pengering rak telur. mesin pengering rak telur tersebut selain bisa dimanfaatkan sebagai pengering pengati panas matahari juga bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan cara mengkonversi energi panas yang dihasilkan oleh mesin pengeringan tersebut menjadi energi listrik dengan menggunakan teori termoelektik

*efek seebeck*. prinsip kerja dari efek seebeck yang bekerja pada sistem pembangkit termoelektrik adalah jika dua buah material logam (semi konduktor) yang tersambung berada dilingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka pada material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik [4]. Konsep ini apabila diterapkan pada pengering rak telur dengan interval limbah panas pada cerobong berkisar antara 170-300°C dan temperatur lingkungan berkisaran 31-34°C, Akan menghasilkan gaya gerak listrik yang dapat digunakan untuk pengoperasian alat elektronik atau disimpan dalam baterai [5]

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul ***“Analisis Pengaruh Termoelektrik Generator Pada Cerobong Mesin Pengering Rak Telur”***

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar energi panas yang ada pada mesin pengeringan rak telur ?
2. Berapa besar energi panas pada cerobong mesin pengering rak telur yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik ?
3. Bagaimana kinerja dari termoelektrik generator pada cerobong mesin pengering rak telur tersebut ?

### C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dicapai pada penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas adalah:

1. Mengetahui besar energi panas yang ada pada cerobong mesin pengering rak telur.
2. Menentukan besar energi panas dari cerobong mesin pengering rak telur yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan menggunakan generator termoelektrik.
3. Menentukan kinerja dari generator termoelektrik pada cerobong mesin pengering rak telur.

### D. Batasan Masalah

Pada penulisan ini ada beberapa masalah yang dibatasi agar tidak menyimpang dari apa yang diteliti. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada energi panas dari cerobong insinerator yang digunakan untuk membakar sampah sekam padi.
2. Konverter dari energi panas ke energi listrik menggunakan termoelektrik generator.
3. Dimensi peralatan uji disesuaikan dengan yang ada di pasaran.
4. Tidak membahas rancang bangun mesin pengering rak telur.

5. Mesing pengering yang digunakan adalah mesin yang berada pada PT. Rak Telur Nusantara.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini untuk memberikan informasi mengenai unjuk kerja dari termoelektrik generator dalam memanfaatkan energi panas dari insinerator yang dikonversi menjadi energi listrik dan juga sebagai sumber informasi pengetahuan untuk pengembangan energi alternatif.

#### **F. Sistematika Penulisan**

**BAB I.** Membahas tentang tujuan dan latar belakang masalah mengapa manusia membutuhkan *thermoelektrik* generator sebagai salah satu pembangkit listrik. Selain itu juga berisi batasan-batasan permasalahan dari percobaan yang dilakukan dan garis besar penulisan dari thesis.

**BAB II.** Membahas tentang teori-teori pendukung dari penelitian yang dilakukan antara lain mengenai konsep panas dan efek *thermoelektrik*.

**Bab III.** Membahas tentang alat-alat yang digunakan untuk membantu penelitian, rancangan percobaan untuk menguji pemanfaatan *thermoelektrik* generator sebagai penghasil listrik, dan metode penelitian yang dilakukan.

**BAB IV.** Membahas tentang bagaimana cara pengujian dengan menggunakan alat-alat yang diperlukan disertai juga hasil-hasil percobaan yang telah dilakukan dan analisis terhadap hasil-hasil yang diperoleh.

**BAB V.** Membahas tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Selain itu juga berisi tentang saran-saran dan pengembangan lebih lanjut pada penelitian yang dilakukan pada thesis ini.

**DAFTAR PUSTAKA,** Berisi tentang daftar sumber referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian yang terdiri dari nama pengarang, tahun terbit, judul referensi, dan nama penerbit.

**LAMPIRAN,** Berisi tentang alat yang digunakan, data-data hasil penelitian seperti gambar, dimensi alat percobaan tabel serta langkah-langkah dalam pembuatannya.



## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. Tinjauan Pustaka**

Sejauh ini, baik penelitian eksperimenta dan komputasi terkait model pemasangan termoelektrik mengklaim pemasangan termoelektrik secara seri lebih efektif dibandingkan secara paralel. Zuryati Djafar dkk (2013), meneliti tentang termo-elemen yang memanfaatkan panas dan mengubahnya menjadi energi listrik. Modul TE memanfaatkan limbah panas suhu rendah dari sel surya yang disimulasikan dengan kombinasi bolham dan pelat pengumpul. Modul TE yang diuji adalah modul tunggal dan ganda, dimana untuk modul ganda, konektivitas Thermal series digunakan. Parameter kinerja seperti daya output yang dihasilkan ditentukan dengan mengukur perbedaan suhu dan perbedaan tegangan pada modul uji serta menggunakan beberapa persamaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak sumber panas dan beban yang diterapkan akan sangat mempengaruhi kinerja modul termoelektrik generator (TEG). Penggunaan Pipa Panas menghasilkan daya jauh lebih besar 4-6 kali pada TE modul tunggal (0,84mW) daripada tanpa pipa panas (0,14 mW), dan modul TE ganda yang menggunakan pipa panas akan menjadi 4 kali lebih besar (1,48mW) dari tanpa pipa panas (0.37mW) [6].

Zuryati Djfar dkk (2014) meneliti tentang karakteristik modul termoelektri non-merek sebagai generator termoelektrik yang mampu mengubah energi panas menjadi energi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam setiap variasi

kondisi suhu fluida memberikan pengaruh yang sangat besar pada perbedaan suhu ( $T_h - T_c$ ), yang adanya meningkatkan tegangan. perubahan kondisi suhu di *Circulating Thermstatic Bath (CTB)* dari  $35^\circ\text{C}$  hingga  $50^\circ\text{C}$  dapat meningkatkan perbedaan suhu dari  $4,25^\circ\text{C}$  hingga  $15,8^\circ\text{C}$ , dan memberikan perbedaan tegangan dari  $139,3\text{mV}$  hingga  $581,5\text{mV}$  [7].

Yousef S.H Najjar (2017), didalam penelitiannya melakukan percobaan pada tungku yang dirancang khusus menggunakan tiga jenis bahan bakar dapat berupa kayu, gambut dan pupuk kandang. Termoelektrik generator (TEG) dan plat cooker dilengkapi dengan sirip yang dirancang khusus untuk meningkatkan perpindahan panas dan menjaga kompor ukuran kecil. hasil yang dapat diperoleh dari TEG adalah sekitar  $5,7$  Watt dan  $1,8$  Watt masing masing untuk kayu, gambut dan pupuk kandang. efisiensi keseluruhan maksimum adalah  $65\%$  saat menggunakan gambut [8].

Usman samsudin dkk (2018), meneliti gas buang dengan menggunakan termoelektrik secara seri dan paralel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan 12 modul TEG yang disusun secara seri listrik dapat menghasilkan tegangan keluaran dengan perbedaan temperatur maksimum masing-masing  $\Delta V$   $3,31$  volt ;  $\Delta T$   $15,0^\circ\text{C}$  (1m),  $\Delta V$   $3,92$  Volt ;  $\Delta T$   $17,8^\circ\text{C}$  (2m),  $\Delta V$   $4,84$  Volt ;  $\Delta T$   $22,0^\circ\text{C}$  (3m) sedangkan untuk sampah dengan pemadatan nilai masing masing  $\Delta V$   $6,34$  volt ;  $\Delta T$   $29,2^\circ\text{C}$  (1m),  $\Delta V$   $7,69$  Volt ;  $\Delta T$   $35,2^\circ\text{C}$  (2m),  $\Delta V$   $9,09$  Volt ;  $\Delta T$   $41,5^\circ\text{C}$  (3m) sedangkan untuk sampah dengan pemadatan nilainya masing-masing sebesar  $11,80\text{W}$  (1m),  $17,36\text{W}$  (2m),  $24,25\text{W}$  (3m). penambahan variasi tinggi cerobong

meningkatkan temperatur sisi panas ( $T_h$ ), sisi dingin ( $T_c$ ) dan beda temperatur ( $dT$ ) sehingga energi panas dan daya mengalami peningkatan [9].

## B. Sejarah Termoelektrik

Termoelektrik adalah alat konversi energi dari perbedaan gradient temperature ke energi potensial. Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johan Seebeck. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Diantara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Hal ini terjadi karena aliran listrik yang terjadi pada logam menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek Seebeck [10].

Pada tahun 1834 Jean Charles Peltier, seorang berkebangsaan Perancis, Penemuan Seebeck ini memberikan inspirasi untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Penemuan ini terjadi pada tahun 1834 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier. Efek Seebeck dan Peltier inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi termoelektrik. (Mith G.Chen) [11]

Emil Lenz pada tahun 1838 membuktikan bahwa efek Peltier bergantung dengan arah arus maka panas dapat dibuang dari *junction* untuk membekukan es,



atau dengan membalikan arah arus maka panas dapat ditambahkan untuk melelehkan es menjadi air, sehingga ini dapat disimpulkan bahwa panas diserap atau diciptakan searah dengan arus listrik yang dialirkan.

Dua puluh tahun kemudian, sekitar tahun 1851 Wiliam Thomson (Lord Kelvin), memberikan penjelasan secara komprehensif mengenai keterkaitan efek Seebeck dan efek Peltier dengan termodinamika. Koefisien Peltier merupakan perkalian dari koefisien Seebeck. Thomson akhirnya mengeluarkan efek ketiga yang dikenal dengan efek Thomson. Panas dapat diserap atau diciptakan mengalir di dalam material. Panas sebanding dengan arah arus listrik yang dialirkan. Konstanta perbandingan ini disebut dengan koefisien Thomson, yang secara termodinamika berkaitan dengan koefisien Seebeck. Salah satu aplikasi fenomena termoelektrik adalah sebagai pompa kalor yang bisa difungsikan sebagai pompa kalor yang dapat digunakan sebagai pemanas atau pendingin suatu produk [11].

Perangkat Thermoelektrik dapat digunakan untuk tujuan pemanasan /pendinginan, atau untuk pembangkit listrik. Aplikasi untuk perangkat termoelektrik dapat menjangkau berbagai bidang dan industri. Aplikasi ini sangat menjanjikan untuk teknologi pembangkit listrik seperti misi ruang angkasa jarak jauh menggunakan perangkat termoelektrik untuk pembangkit listrik.

Tantangan utama untuk perangkat desain thermoelectric adalah kinerja perangkat, dan kompromi antara parameter material untuk meningkatkannya. Upaya untuk meningkatkan kinerja bahan perangkat termoelektrik dari optimasi parameter material ialah pemilihan material yang mampu menyerap struktur panas.

### C. Efek Thermoelektrik

Fenomena penemuan ini terjadi sekitar tanggal 1800-an, dengan banyaknya aplikasi potensial yang sekarang dan di masa depan, tetapi juga dengan tantangan untuk meningkatkan kinerja perangkat thermoelectric. Fenomena ini dijelaskan oleh tiga efek. Efek Seebeck ditemukan oleh Thomas Seebeck pada tahun 1821 tentang konversi perbedaan suhu menjadi tegangan listrik. Efek Peltier yang ditemukan oleh Jean Peltier pada tahun 1834 mengenai konversi tegangan menjadi gradient suhu. Dan efek Thomson ditemukan oleh Wiliam Thomson pada tahun 1851 mengenai aliran panas masuk sebuah konduktor dengan terminal yang diadakan pada temperature yang berbeda, karena aliran arus.

Efek termoelektrik adalah proses perubahan energi panas (perubahan temperatur) menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi perbedaan temperatur. Ada tiga efek utama dalam efek termoelektrik yaitu Seebeck, Peltier dan Thomson. Efek Seebeck mengubah perbedaan temperatur menjadi tegangan atau kekuatan listrik (EMF). Perubahan EMF sehubungan dengan perubahan temperatur disebut dengan koefisien Seebeck. Efek Peltier merupakan kebalikan dari efek Seebeck yang memberikan perbedaan temperatur dengan memberikan EMF. Untuk efek Thomson berkaitan dengan perbedaan suhu dan EMF dalam suatu pengantar homogen.

#### 1. Efek Seebeck

Efek Seebeck adalah konversi langsung dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian

tertutup dan diantara kedua logam tersebut diletakkan jarum kompas. Ketika pada persambungan logam dipanaskan, jarum kompas bergerak. Hal ini karena logam yang berbeda menanggapi perbedaan temperatur, yang menimbulkan loop arus dan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas. Seebeck tidak menyadari ada arus yang terlibat, sehingga dia menyebut fenomena dengan efek *thermomagnetic*. Tetapi fisikawan

Denmark, Hans Christian Orsted memperbaiki kesalahan itu dan menciptakan istilah untuk mengganti efek *thermomagnetic* yang disebut *thermoelectricity*.

Jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Fenomena ini pertama kali ditemukan oleh Seebeck sehingga disebut efek Seebeck atau umumnya dikenal dengan nama prinsip termokopel. Tegangan yang dihasilkan ini sebanding dengan perbedaan temperatur diantara dua junction. Semakin besar perbedaan temperatur, semakin besar tegangan diantara junction. Dari fenomena ini, kita dapat menentukan koefisien Seebeck, yaitu:

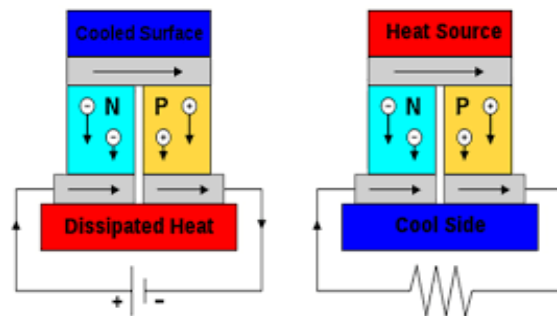
$$S = - \frac{\Delta V}{\Delta T} = - \frac{V_{hot} - V_{cold}}{T_{hot} - T_{cold}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

S = koefisien seebeck (Volt/°K)

ΔP = Perubahan potensial thermoelektrik (Volt)

T = Temperatur (°K)



Gambar 2.1 Skema ilustrasi efek Seebeck [12]

## 2. Efek Peltie

Penemuan Seebeck memberikan inspirasi pada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Penemuan yang terjadi pada tahun 1834 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier.

Pada saat arus mengalir melalui *thermocouple*, *temperatur junction* akan berubah dan panas akan diserap pada satu permukaan, sementara permukaan yang lainnya akan membuang panas. Jika sumber arus dibalik, maka permukaan yang panas menjadi dingin dan sebaliknya. Gejalaini disebut efek peltier yang merupakan dasar pendinginan termoelektrik. Dari percobaan diketahui bahwa perpindahan panas sebanding terhadap arus mengalir. Persamaan dari efek adalah sebagai berikut :

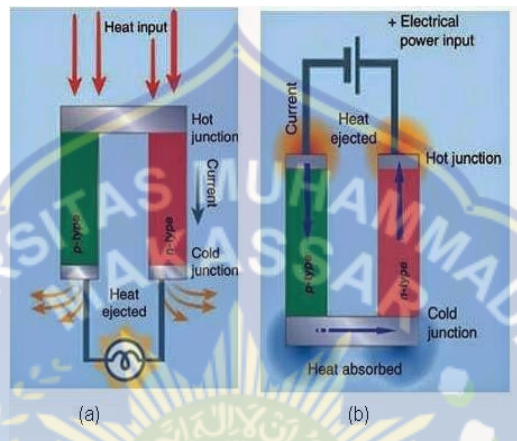
$$\pi_{ab} = \frac{Q}{I_{ab}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$\pi_{ab}$  = Koefisien Peltier (Volt)

$Q$  = Beban perpindahan panas (Watt)

$I_{ab}$  = Arus Listrik (Ampere)



Gambar 2.2 Skema ilustrasi efek Peltier [13]

### 3. Efek Thomson

Pada tahun 1854 seorang berkebangsaan Inggris yang bernama William Thomson mengemukakan hasil penelitiannya bahwa terdapat penyerapan atau pengeluaran panas bolak-balik dalam konduktor homogen yang terkena perbedaan panas dan perbedaan listrik secara simultan. Koefisien Thomson dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tau = \frac{Q}{I} \Delta T \dots\dots\dots (2.3)$$

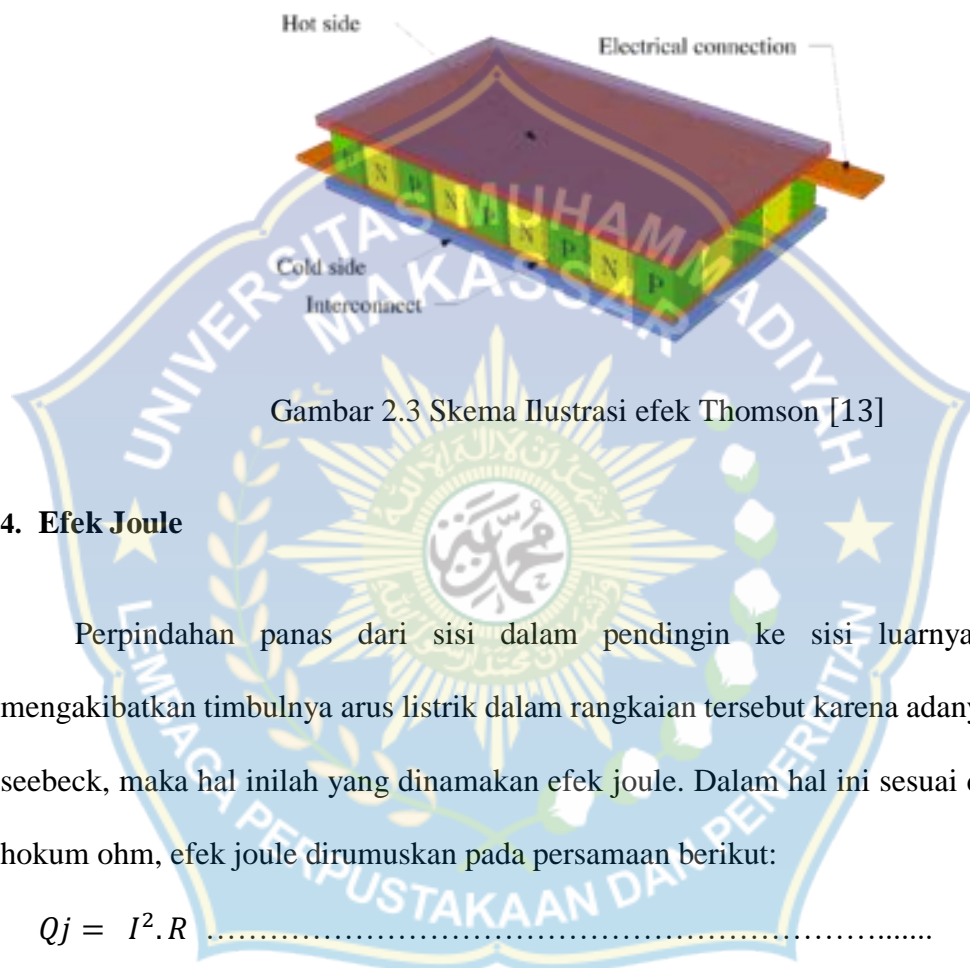
Keterangan :

$\tau$  = Koefisien Peltier (Volt)

$Q$  = Beban perpindahan panas (Watt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

$\Delta T$  = Perbedaan temperature ( $^{\circ}K$ )



Gambar 2.3 Skema Ilustrasi efek Thomson [13]

#### 4. Efek Joule

Perpindahan panas dari sisi dalam pendingin ke sisi luarnya akan mengakibatkan timbulnya arus listrik dalam rangkaian tersebut karena adanya efek seebeck, maka hal inilah yang dinamakan efek joule. Dalam hal ini sesuai dengan hukum ohm, efek joule dirumuskan pada persamaan berikut:

$$Q_j = I^2 \cdot R \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$Q_j$  = Efek joule (panas joule) (watt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

$R$  = Tahanan (Ohm)

## 5. Efek Konduksi

Panas akan merambat secara konduksi dari permukaan yang panas ke permukaan yang dingin. Perambatan bersifat *irreversible* dan disebut efek konduktivitas. Besarnya perambatan tersebut dinyatakan dalam persamaan:

$$q_c = U \cdot (T_h - T_c) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$q_c$  = Laju aliran panas (watt)

$U$  = konduktifitas thermal (Watt/°K)

$T_h$  = Temperatur *hot junction* (°K)

$T_c$  = Temperatur *cold junction* (°K)

### D. Parameter Penggunaan Modul Termoelektrik

Pada modul termoelektrik yang digunakan untuk aplikasi pemanas dikarakterisasikan kedalam beberapa parameter penggunaan yang menentukan pemilihan modul yang lebih akurat diantara banyak pilihan modul yang tersedia. Berikut beberapa parameter yang menjadi dasar pemilihan modul termoelektrik :

1. Jumlah kalor yang akan diserap oleh sisi panas modul.
2. Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul ketika beroperasi
3. Arus listrik yang digunakan oleh modul.
4. Tegangan listrik yang digunakan oleh modul.
5. Temperatur tertinggi dan terendah lingkungan dimana modul beroperasi.

## E. Efek-Efek Perpindahan Panas Thermoelektrik

### 1. Perpindahan Panas

Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendingin termoelektrik adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi mulai dari heat sink sisi dingin peltier, bracket/coldsink, dan heat sink pada sisi panas peltier. Sedangkan konveksi terjadi pada udara dalam ruangan, lingkungan sekitar alat uji dry box, dan udara disekitar sirip-sirip heat sink. Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang cara untuk meramalkan perpindahan (distribusi) energi berupa panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Perpindahan panas dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

Perpindahan panas secara konduksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi pada benda atau medium yang diam (padat) bertemperatur tinggi ke bagian benda yang bertemperatur rendah atau terdapat gradien temperatur pada benda tersebut.

Rumus dasar perpindahan panas secara konduksi adalah [14]:

$$Q = - \frac{kA\Delta T}{x} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

K = Konduktivitas panas (W/m<sup>2</sup>°C)



$A$  = Luasan Perpindahan panas arah normal  $Q$  ( $m^2$ )

$\Delta T$  = Beda temperatur ( $^{\circ}C$ )

$X$  = Ketebalan bahan (m)

Perpindahan Panas Konveksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi karena terdapat aliran fluida. Persamaan dasar perpindahan konveksi adalah [15]:

$$Q = h \cdot A (T_w - T_a) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$Q$  = Laju perpindahan panas (Watt)

$h$  = Koefisien perpidahan panas konveksi ( $W/m^2^{\circ}C$ )

$A$  = Luasan perpindahan panas arah normal  $Q$  ( $m^2$ )

$T_w$  = Temperatur permukaan benda ( $^{\circ}C$ )

$T_a$  = Temperatur Fluida ( $^{\circ}C$ )

Perpindahan panas radiasi adalah distribusi energi berupa panas terjadi melalui pancaran gelombang cahaya dari suatu zat ke zat yang lain tanpa zat perantara. Untuk menghitung besarnya panas yang dipancarkan yaitu menggunakan rumus[15] :

$$Q = \varepsilon AT^4s \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

$Q$  = Panas yang dipancarkan (Watt)

$\varepsilon$  = emisivitas permukaan benda (0 s.d. 1)

$A$  = Luas perpindahan panas ( $m^2$ )

$T$  = Temperatur permukaan benda ( $^{\circ}K$ )

$$\sigma = \text{Konstanta Stefan Boltzman} \quad (\text{W/m}^2.\text{K}^4)$$

### a) Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan panas tanpa diikuti oleh perpindahan molekul benda tersebut. Konduksi juga dapat dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang cukup besar menuju ke benda yang memiliki energi yang rendah.

Ada suatu perbedaan antara kalor (heat) dan energi dalam dari suatu bahan. Kalor hanya digunakan bila menjelaskan perpindahan energi dari satu tempat ke yang lain. Kalor adalah energi yang dipindahkan akibat adanya perbedaan temperatur. Sedangkan energi dalam (termis) adalah energi karena temperaturnya. Kalor merupakan bentuk energi yang berasal dari perubahan energi bentuk lain, seperti : (1) energi listrik berubah menjadi energi kalor, contohnya pada strika listrik; (2) energi gerak berubah menjadi energi kalor, contohnya saat orang menggergaji logam.

Ketika salah satu bagian logam bersentuhan dengan nyala lilin atau nyala api, secara otomatis kalor mengalir dari nyala lilin (suhu tinggi) menuju bagian logam tersebut (suhu rendah). Walaupun hanya salah satu bagian logam yang bersentuhan dengan nyala api, semua bagian logam tersebut akan kepanasan juga. Tanganmu bisa terasa panas, karena kalor mengalir dari logam (suhu tinggi) menuju tanganmu (suhu rendah). Kalor itu energi yang berpindah. Kita bisa mengatakan bahwa ketika salah satu bagian benda yang bersuhu tinggi bersentuhan dengan benda yang bersuhu rendah, energi berpindah dari benda

yang bersuhu tinggi menuju bagian benda yang bersuhu rendah. Ketika benda yang memiliki perbedaan suhu saling bersentuhan, terdapat sejumlah kalor yang mengalir dari benda atau tempat yang bersuhu tinggi menuju benda atau tempat yang bersuhu rendah. Ketika mengalir, kalor juga membutuhkan selang waktu tertentu. Perlu diketahui bahwa setiap benda (khususnya benda padat) yang dilewati kalor pasti mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda. Ada benda padat yang panjang, ada juga benda padat yang pendek. Ada yang gemuk (luas penampangnya besar), ada juga yang kurus (luas penampangnya kecil). Persamaan yang digunakan untuk perpindahan panas konduksi dikenal dengan Hukum Fourier [15]:

$$q = -K \cdot A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \dots \dots \dots (2.9)$$

Nilai minus (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa panas selalu berpindah ke arah temperatur yang lebih rendah. Jika suatu benda padat disusun berlapis dari material yang berbeda, maka untuk mengetahui nilai perpindahan panas yang terjadi dapat digunakan pendekatan system resistansi listrik. Besarnya tahanan termal yang terjadi adalah perbandingan selisih suhu diantara kedua permukaan ( $T_1 - T_2$ ) dengan laju aliran panas  $q$  (J/s). Untuk mencari nilai tahanan termal dari suatu material padatan digunakan persamaan :

$$R_T = \frac{T_1 - T_2}{q} = \frac{\Delta x}{K \cdot A} = \frac{q}{K \cdot A} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

$q$  = Energi panas (W)

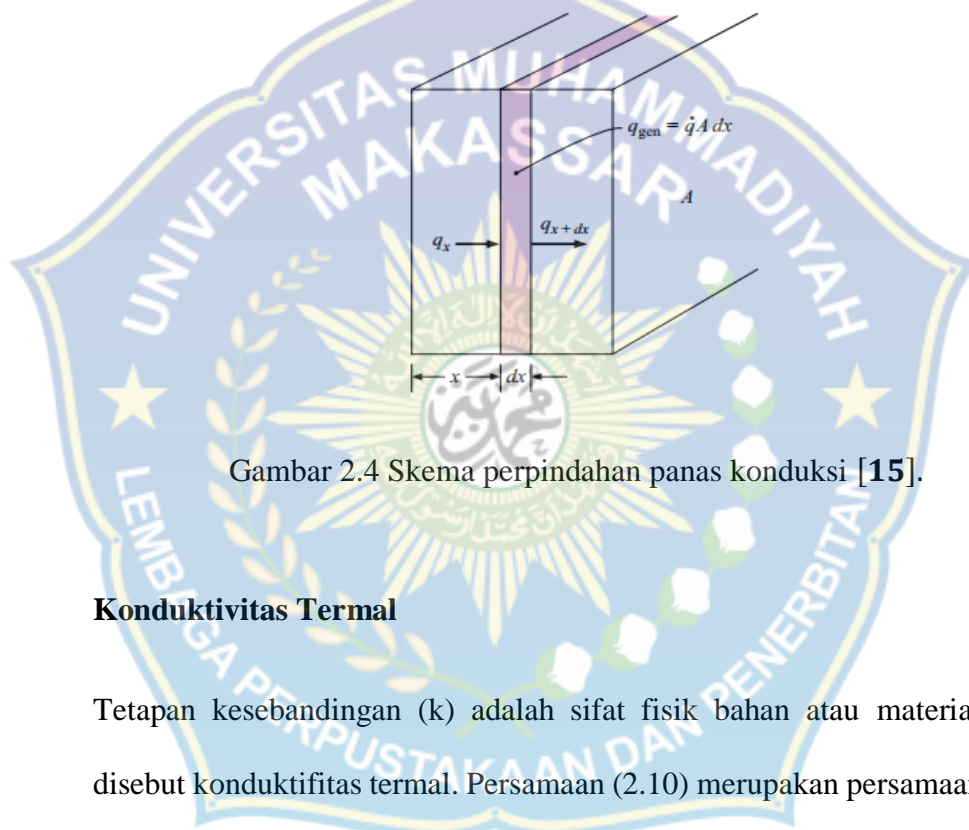
$k$  = Konduktivitas termal (W/m.°C)

$A$  = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$\Delta x$  = Tebal penampang permukaan (m)

$T_1$  = Temperatur yang lebih tinggi (°C)

$T_2$  = Temperatur yang lebih rendah (°C)



Gambar 2.4 Skema perpindahan panas konduksi [15].

### Konduktivitas Termal

Tetapan kesebandingan ( $k$ ) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (2.10) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat bergantung pada suhu.

Tabel 2-1 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0 °C [15]

Material	Thermal conductivity <i>k</i>	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
<b>Metals:</b>		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
<b>Nonmetallic solids:</b>		
Diamond	2300	1329
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.08–2.94	1.2–1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Hard rubber	0.15	0.087
Polyvinyl chloride	0.09	0.052
Styrofoam	0.033	0.019
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Ice	2.22	1.28
<b>Liquids:</b>		
Mercury	8.21	4.74
Water	0.556	0.327
Ammonia	0.540	0.312
Lubricating oil, SAE 50	0.147	0.085
Freon 12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.073	0.042
<b>Gases:</b>		
Hydrogen	0.175	0.101
Helium	0.141	0.081
Air	0.024	0.0139
Water vapor (saturated)	0.0206	0.0119
Carbon dioxide	0.0146	0.00844

## b) Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection). Bila gerakan fluida disebabkan karena

adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (free/natural convection). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (forced convection).



Gambar 2.5 Skema perpindahan panas konveksi [15]

Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir didalam saluran tertutup seperti pada gambar 2.5 merupakan contoh proses perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = -hA (T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

$q$  = Laju perpindahan panas (kJ/s atau W)

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>.°C)

$A$  = Luas bidang permukaan perpindahan panas (ft<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>)

$T_w$  = Temperatur dinding (°C, °K)

$T_\infty$  = Temperatur sekeliling (°C, °K)

Tanda minus ( - ) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang dipindah selalu mempunyai tanda positif ( + ).

### **Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi**

Pada hukum Newton pendinginan, koefisien  $h$  adalah koefisien perpindahan kalor konveksi dimana merupakan konstanta proporsionalitas pada persamaan pada hukum Newton pendinginan. Pada persamaan 2.12 yang mungkin serupa dengan Hukum Fourier tentang konduksi kalor. Namun, koefisien  $h$  merupakan koefisien yang sama sekali berbeda dengan konduktivitas thermal  $k$  yang muncul sebagai konstanta proporsionalitas dalam hukum Fourier. Secara khusus,  $h$  bukanlah merupakan properties material melainkan nilai koefisien  $h$  bergantung pada geometri, properties fluida, gerak, dan dalam beberapa kasus perbedaan suhu,  $\Delta T = (T_s - T_\infty)$ , dimana  $h = f(\text{geometri, gerakan fluida, sifat fluida, } \Delta T)$ .

Dalam menentukan nilai dari koefisien perpindahan kalor konveksi perlu diperhatikan beberapa parameter tak berdimensi (dimensionless parameter) dimana:

- Sejumlah besar parameter dibutuhkan untuk menjelaskan perpindahan kalor.
- Parameter tersebut dapat dikelompokkan bersama untuk membentuk suatu nilai kecil parameter tak berdimensi

Dalam hal ini, memberikan persamaann umum menjadi lebih sederhana dimana koefisien perpindahan kalor dapat dihitung. Adapum

parameter tak berdimensi seperti bilangan Reynolds, bilangan Nusselts, dan bilangan Prandtl biasa digunakan dalam menentukan nilai koefisien perpindahan kalor.

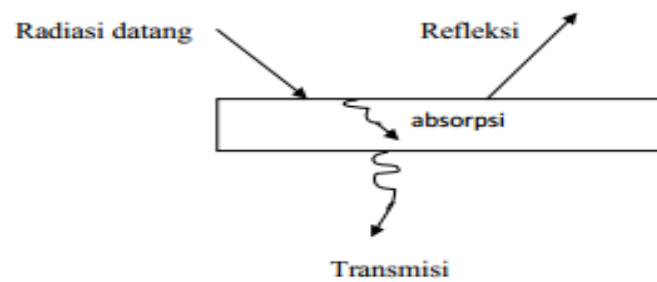
Tabel 2 -2 Nilai koefisien perpindahan panas konveksi[15]

Mode	$h$	
	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	$Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$
Across 2.5-cm air gap evacuated to a pressure of $10^{-6}$ atm and subjected to $\Delta T = 100^\circ C = 30^\circ C$	0.087	0.015
<i>Free convection, <math>\Delta T = 30^\circ C</math></i>		
Vertical plate 0.3 m [1 ft] high in air	4.5	0.79
Horizontal cylinder, 5-cm diameter, in air	6.5	1.14
Horizontal cylinder, 2-cm diameter, in water	890	157
Heat transfer across 1.5-cm vertical air gap with $\Delta T = 60^\circ C$	2.64	0.46
Fine wire in air, $d = 0.02$ mm, $\Delta T = 55^\circ C$	490	86
<i>Forced convection</i>		
Airflow at 2 m/s over 0.2-m square plate	12	2.1
Airflow at 35 m/s over 0.75-m square plate	75	13.2
Airflow at Mach number $\approx 3$ , $p = 1/20$ atm, $T_\infty = -40^\circ C$ , across 0.2-m square plate	56	9.9
Air at 2 atm flowing in 2.5-cm-diameter tube at 10 m/s	65	11.4
Water at 0.5 kg/s flowing in 2.5-cm-diameter tube	3500	616
Airflow across 5-cm-diameter cylinder with velocity of 50 m/s	180	32
Liquid bismuth at 4.5 kg/s and $420^\circ C$ in 5.0-cm-diameter tube	3410	600
Airflow at 50 m/s across fine wire, $d = 0.04$ mm	3850	678
<i>Boiling water</i>		
In a pool or container	2500–35,000	440–6200
Flowing in a tube	5000–100,000	880–17,600
<i>Condensation of water vapor, 1 atm</i>		
Vertical surfaces	4000–11,300	700–2000
Outside horizontal tubes	9500–25,000	1700–4400
<i>Dropletwise condensation</i>	170,000–290,000	30,000–50,000

### c) Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut.





Gambar 2.6. Perpindahan panas radiasi [15]

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan seperti gambar 2.7. Sedangkan besarnya energi :

$$Q_{\text{pancaran}} = \sigma A T^4 \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

$Q_{\text{pancaran}}$  = Laju perpindahan panas (W)

$\sigma$  = Konstanta boltzman ( $5.669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

$A$  = Luas permukaan benda ( $\text{m}^2$ )

$T$  = Suhu absolute benda ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 2. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan besaran fisis yang tak berdimensi.

Bilangan ini dipergunakan sebagai acuan dalam membedakan aliran laminar dan turbulen di satu pihak, dan di lain pihak dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk mengetahui jenis-jenis aliran yang berlangsung dalam air. Hal ini didasarkan pada suatu keadaan bahwa dalam satu tabung/pipa atau dalam satu tempat mengalirnya air, sering terjadi perubahan bentuk aliran yang satu menjadi aliran yang lain. Perubahan bentuk aliran ini pada umumnya tidaklah terjadi secara tiba-tiba tetapi memerlukan waktu, yakni suatu waktu yang relative pendek dengan diketahuinya kecepatan kritis dari suatu aliran. Kecepatan kritis ini pada umumnya akan dipengaruhi oleh pusingan pipa, jenis zat cair yang lewat dalam pipa tersebut.

Terdapat empat besaran yang menentukan apakah aliran tersebut digolongkan laminar atau turbulen. Keempat besaran tersebut adalah besaran massa jenis air, kecepatan aliran, kekentalan, dan diameter pipa. Kombinasi dari keempatnya akan menentukan besarnya bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan aliran fluida apakah laminar atau turbulen, dan transisi. Untuk menentukan nilai dari Reynolds number ( $Re$ ) untuk aliran dalam pipa digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{GD}{\mu} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

$Re$  = Bilangan Reynolds

$G$  = kecepatan aliran massa (kg/m<sup>2</sup>s)

$D$  = Diameter pipa (m)

$\mu$  = Viskositas dinamik fluida (Ns/m<sup>2</sup>)

### 3. Bilangan Nussel

Bilangan Nusselt (Nu) yang dapat didefinisikan sebagai rasio perpindahan kalor konveksi fluida dengan perpindahan kalor konduksi dalam fluida dalam kondisi yang sama. Sehingga bilangan Nusselt :

$$Nu = \frac{q''(\text{konveksi})}{q''(\text{konduksi})} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/L} = \frac{hL}{k} \dots\dots\dots (2.14)$$

Bilangan Nusselt untuk aliran dalam pipa dapat dituliskan :

$$Nu = \frac{hD}{k_f} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

Nu = Bilangan Nusselt

$h$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m<sup>2</sup>.K)

$L$  = Panjang (m)

$D$  = Diameter pipa (m)

$k_f$  = Konduktifitas kalor fluida (W/m.K)

### 4. Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl merupakan rasio viskositas ( $\nu$ ) fluida dengan difusivitas kalor ( $\alpha$ ), dimana bilangan Prandtl merupakan properties termodinamika dari fluida.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

$Pr$  = Bilangan Prandtl

$\nu$  = viskositas kinematik fluida ( $m^2/s$ )

$\alpha$  = *thermal diffusivity* ( $m^2/s$ )

$c_p$  = kalor spesifik ( $J/kg.^{\circ}K$ )

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $N.s/m^2$ )

$k_f$  = konduktivitas kalor fluida ( $W/m.^{\circ}K$ )

#### F. Elemen Thermoelektrik

Dari ketiga prinsip efek termoelektrik dapat disimpulkan apabila batang material logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 kutub batang material logam. Elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Maka elektron akan mengalami difusi dari rapat muatan tinggi ke rapat muatan yang rendah. Dari sisi panas ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan magnet.

Pergerakan ion pada logam yang diakibatkan dari perbedaan temperatur akan menimbulkan tegangan. Elemen termoelektrik terdiri dari semikonduktor tipe-p (material yang kekurangan electron) dan tipe-n (material yang kelebihan electron) dihubungkan dalam suatu rangkaian listrik yang tertutup dengan diberi beban. Perbedaan temperatur antar junction dari material semikonduktor itu akan menyebabkan perpindahan electron atau terjadi difusi dari sisi panas menuju sisi dingin.

*Heat flow* yang terjadi pada sisi panas terdiri dari tiga komponen. *Heat flow* yang melalui material termoelektrik karena sifat konduktivitas dari material logam. Panas yang terserap pada sisi panas dari termoelektrik karena efek peltier dan panas yang disebabkan oleh daya yang dihasilkan dari termoelektrik.



Gambar 2.7. Semikonduktor Tipe N dan Tipe P [16]

Prinsip kerja termoelektrik ini berdasarkan pada efek peltier, yaitu ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe n (semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi), akan mengakibatkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan). Sisi elemen peltier yang menjadi sisi panas maupun dingin tergantung arah aliran arus listrik.

Hal ini menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalir electron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-p, ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe n. supaya electron tipe p yang mempunyai tingkat yang lebih rendah dapat mengalir, maka electron menyerap kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin. Sedangkan

pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sambungan sisi panas, dimana electron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor tipe-n) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe-p), untuk dapat mengalir ke semikonduktor tipe p, kelebihan energi pada tipe n dibuang ke lingkungan sisi tersebut menjadi panas. Cara kerja peltier, dengan membuat panas di satu sisi, kemudian sisi panas dan dingin bisa mencapai 65 derajat Celcius. Jadi apabila kita bisa membuat sisi panas serendah mungkin, maka sisi dingin akan bisa sangat dingin bahkan berbuih es. Contoh sisi panas 80 °C (batas maksimal yang diperbolehkan), maka sisi dingin akan 15 °C.

#### **G. Parameter Penggunaan Modul Thermoelektrik**

Pada modul thermoelektrik yang digunakan untuk aplikasi pemanas dikarakterisasikan kedalam beberapa parameter penggunaan yang menentukan pemilihan modul yang lebih akurat diantara banyak pilihan modul yang tersedia.

Berikut beberapa parameter yang menjadi dasar pemilihan modul thermoelektrik:

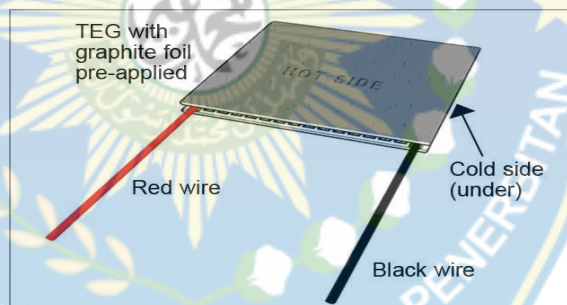
1. Jumlah kalor yang akan diserap oleh sisi panas modu.
2. Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul ketika beroperasi.
3. Arus listrik yang digunakan oleh modul.
4. Tegangan listrik yang digunakan oleh modul.
5. Temperatur tertinggi dan terendah lingkungan dimana modul beroperasi.

## 1. Modul Thermoelektrik

Modul thermoelektrik adalah alat yang dapat mengubah energi panas dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya. Modul ini memanfaatkan tiga efek thermoelektrik yaitu Seebeck, Peltier, dan Thomson. Konstruksi modul thermoelektrik terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n.

### a) Thermoelektrik Generator (TEG)

Thermoelektrik generator atau TEG menggunakan prinsip efek seebeck. Jika ada dua buah material logam yang berbeda, maka pada material itu akan mengalir arus gaya atau gaya gerak listrik. Thermoelektrik generator secara langsung mengubah energi panas menjadi energi listrik.



Gambar 2.8 Thermoelektrik generator

Dengan perbedaan temperatur panas antara sisi panas dan sisi dingin pada thermoelektrik generator, pada elemen ini akan mengalir arus sehingga terjadi beda tegangan. Secara umum thermoelektrik generator menggunakan bahan BiTe *Bismuth Tellurid*, dengan rentang temperature kerja hingga 350°C. Besarnya tengangan yang dihasilkan sebanding dengan gradient temperatur.

### b) Thermoelektrik Cooling (TEC)

Thermoelektrik *cooler* atau TEC menggunakan prinsip yang berkebalikan dari TEG yaitu menggunakan efek peltier. Jika ada arus listrik yang mengalir melewati rangkaian dari dua buah konduktor dengan material yang berbeda, akan terjadi kenaikan dan penurunan temperatur pada *junction* yang bergantung pada aliran arus listrik. Pembuangan panas dari sisi panas akan menurunkan temperatur pada sisi dingin dengan cepat, besarnya penurunan temperatur bergantung pada arus yang diberikan.



Gambar 2.9 Thermoelektrik Cooling

Modul TEC biasanya digunakan untuk sistem pendingin, seperti *dispenser*. Ketika ada aliran arus listrik, electron bergerak dari bahan tipe-p ke bahan tipe-n menyerap energi panas *junction* sisi dingin. Elektron-elektron membuang kelebihan energi pada *junction* sisi panas.



## H. Efisiensi Thermoelektrik

Dalam penggunaan aplikasi pembangkit listrik terdapat jumlah maksimum energi yang dapat digunakan. Jumlah ini adalah efisiensi karnot maksimum. Dalam thermoelektrik perbedaan temperatur yang besar antara sisi panas dan sisi dingin, maka semakin besar daya yang dihasilkan. Efisiensi karnot menggambarkan batas teoritis, jika kita mempunyai mesin kalor yang paling ideal artinya mesin memiliki efisien karnot 100%.. untuk efisiensi thermal berbeda, karena selalu lebih kecil dari efisiensi karnot ideal. Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa tidak semua kalor yang diberikan dalam suatu mesin kalor dapat digunakan untuk melakukan kerja, efisiensi karnot menetapkan nilai batas pada fraksi yang dapat digunakan.

Sebagai perbandingan, pembangkit daya thermoelektrik memiliki efisiensi karnot paling rendah yaitu 5-8%. Sementara daya lain seperti diesel memiliki efisiensi karnot sebesar 30%. *Power Chip* diproyeksikan mencapai efisiensi karnot sekitar 70-80%, efisiensi ini adalah yang paling besar dibandingkan dengan pembangkit daya lain.

## I. Perhitungan Thermoelektrik

Bahan thermoelektrik merupakan semikonduktor yang merupakan benda padat ataupun logam yang mempunyai nilai diantaranya nilai resistansi konduktor dan isolator. Permukaan dingin menyerap panas dari produk yang dikondisikan, bagian ini mempunyai fungsi yang sama dengan evaporator pada sistem

pendinginan kompresi uap. Permukaan panas mengeluarkan atau membuang panas ke luar, bagian ini mempunyai fungsi yang sama dengan kondensor.

Sama halnya dengan kondensor yang menggunakan sirip-sirip untuk mempercepat pembuangan panasnya, thermoelektrik pada sisi permukaan panas juga ditambahkan dengan peredam panas untuk mempercepat proses pembuangan panas. Sumber arus searah pada thermoelektrik mempunyai fungsi yang sama dengan kompresor pada sistem kompresi uap. Pengeluaran dan penyerapan panas hanya terjadi pada kedua sisi permukaan. Besarnya kalor yang diserap dan dikeluarkan adalah sebagai berikut:

$$q_c = 2 \cdot a \cdot T_c \cdot I - I^2 \left( \frac{R}{2} \right) - K (T_h - T_c) \dots \dots \dots (2.19)$$

$$q_h = 2 \cdot a \cdot T_h \cdot I - K \Delta T + \frac{1}{2} I^2 \cdot R \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

$q_c$  = Laju perpindahan panas yang diserap (Watt)

$q_h$  = Laju perpindahan panas yang dilepas (Watt)

$\Delta T$  = perbedaan temperatur (K)

$\alpha$  = Kekuatan thermoelektrik dari 2 material (Volt/K)

R = Tahanan total (Ohm)

K = Konduktivitas termal dari 2 material (Watt/K)

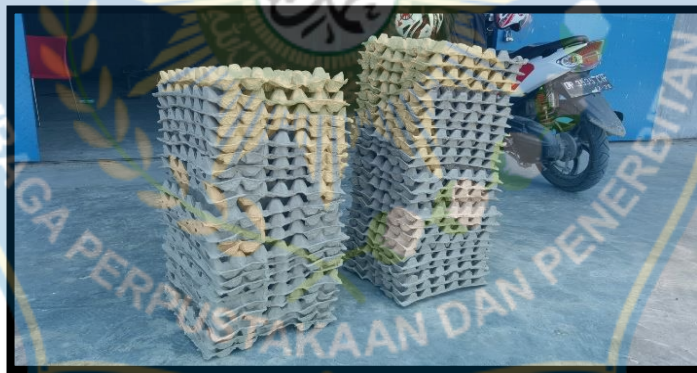
I = Arus yang mengalir (Ampere)

$T_h$  = Temperatur permukaan panas (K)

$T_c$  = Temperatur permukaan dingin (K)

## J. Rak Telur

Selain beras, kota Sidrap juga dikenal dengan produksi telurnya. Mengingat begitu banyaknya masyarakat yang berkecimpung dalam bisnis telur ini sehingga permintaan terhadap rak telur juga meningkat. Berdasarkan hasil *survey*, paling sedikit peternak telur dapat menghasilkan 300-400 rak telur tiap harinya. Rak telur merupakan wadah yang digunakan para peternak telur untuk menyimpan dan menyusun telur yang dihasilkan oleh ayam-ayam yang mereka pelihara agar tidak retak dan memudahkan dalam transaksi penjualannya. Rak telur ini terbuat dari limbah kertas yang hancur dan membentuk adonan bubur kertas serta diproses sedemikian rupa dengan pabrikasi mekanis sehingga terbentuk rak telur yang kita kenal selama ini.



Gambar 2.10 Rak telur limbah kertas [18]

## K. Konsep Dasar Proses Pengeringan

Pengeringan didefinisikan sebagai proses pengambilan air yang relatif kecil dari suatu zat padat atau dari campuran gas. Pengeringan meliputi proses perpindahan panas, massa dan momentum. Operasi pengeringan terjadi oleh adanya

panas yang terjadi secara fisik yaitu operasi penguapan. Dalam arti umum operasi pengeringan tidak hanya berarti pengambilan sejumlah kecil air saja melainkan berlaku juga untuk cairan-cairan selain air yang menghasilkan bahan padat yang kering. Bahan yang akan dikeringkan dikontakkan dengan panas dari udara (gas) sehingga panas akan dipindahkan dari udara panas ke bahan basah tersebut, dimana panas ini akan menyebabkan air menguap ke dalam udara. Pada industri rak telur yang menjadi masalah adalah proses pengeringannya, Karena kualitas dan kuantitas dari suatu pabrik rak telur bergantung pada hal tersebut.

Kecepatan pengeringan suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : (1) sifat fisik bahan, (2) pengaturan geometris produk sehubungan dengan permukaan alat atau media perantara pemindahan panas, (3) sifat-sifat dari lingkungan alat pengering (suhu, kelembaban dan kecepatan udara, serta (4) karakteristik alat pengering (efisiensi perpindahan panas).

Menurut beberapa parameter yang mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, antara lain :

- a. Suhu Udara Pengering Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Bila suhu pengeringan dinaikkan maka panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan menjadi berkurang. Suhu udara pengering berpengaruh terhadap lama pengeringan dan kualitas bahan hasil pengeringan. Makin tinggi suhu udara pengering maka proses pengeringan makin singkat. Biaya pengeringan dapat ditekan pada kapasitas yang besar jika digunakan pada suhu tinggi, selama suhu tersebut sampai tidak merusak bahan.

- b. Kelembaban Relatif Udara Pengering Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Kelembaban relatif juga menentukan besarnya tingkat kemampuan udara pengering dalam menampung uap air di permukaan bahan. Semakin rendah RH udara pengering, maka makin cepat pula proses pengeringan yang terjadi, karena mampu menyerap dan menampung uap air lebih banyak dari pada udara dengan RH yang tinggi. Laju penguapan air dapat ditentukan berdasarkan perbedaan tekanan uap air pada udara yang mengalir dengan tekanan uap air pada permukaan bahan yang dikeringkan. Tekanan uap jenuh ini ditentukan oleh besarnya suhu dan kelembaban relatif udara. Semakin tinggi suhu, kelembaban relatifnya akan turun sehingga tekanan uap jenuhnya akan naik dan sebaliknya.
- c. Kecepatan Aliran Udara Pengering Pada proses pengeringan, udara berfungsi sebagai pembawa panas untuk menguapkan kandungan air pada bahan serta mengeluarkan uap air tersebut. Air dikeluarkan dari bahan dalam bentuk uap dan harus secepatnya dipindahkan dari bahan. Bila tidak segera dipindahkan maka air akan menjenuhkan atmosfer pada permukaan bahan, sehingga akan memperlambat pengeluaran air selanjutnya. Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah uap air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Semakin besar *volume* udara yang mengalir, maka semakin besar pula kemampuannya dalam membawa dan menampung air di permukaan bahan.
- d. Kadar Air Bahan Pada proses pengeringan sering dijumpai adanya variasi kadar air bahan. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh tebalnya tumpukan bahan,

RH udara pengering serta kadar air awal bahan. Hal tersebut dapat diatasi dengan cara : (1) mengurangi ketebalan tumpukan bahan, (2) menaikkan kecepatan aliran udara pengering, (3) pengadukan bahan.

Pengeringan yang terlampau cepat dapat merusak bahan, oleh karena permukaan bahan terlalu cepat kering sehingga kurang bisa diimbangi dengan kecepatan gerakan air di dalam bahan yang menuju permukaan bahan tersebut. Adanya pengeringan cepat menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan, selanjutnya air di dalam bahan tersebut tidak dapat lagi menguap karena terhambat.

Laju pengeringan amat bergantung pada perbedaan antara kadar air bahan dengan kadar air keseimbangan. Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan semakin cepat pindah panas ke bahan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan. Pada proses pengeringan, air dikeluarkan dari bahan dapat berupa uap air. Uap air tersebut harus segera dikeluarkan dari atmosfer di sekitar bahan yang dikeringkan. Jika tidak segera keluar, udara di sekitar bahan akan menjadi jenuh oleh uap air sehingga memperlambat penguapan air dari bahan pangan yang memperlambat proses pengeringan. [18]

#### **L. Periode Pengeringan**

Terdapat 2 metode dalam pengeringan rak telur yang telah digunakan selama ini, yaitu :

## 1. Pengering Alami

Penjemuran rak telur pada lantai jemur adalah cara pengeringan secara alami yang praktis, murah, sederhana dan umum digunakan oleh para produsen rak telur. Energi untuk penguapan diperoleh dari angin dan sinar matahari. Lantai jemur haruslah memenuhi syarat antara lain mudah dibersihkan dan dikeringkan, tidak basah sewaktu digunakan, dan tidak berlubang-lubang. Lantai jemur umumnya dibuat dari semen, permukannya agak miring dan agak begelombang dengan maksud air tidak tergenang, mudah dikeringkan dan permukaannya menjadi lebih luas. Cara penjemuran rak telur di hamparkan dilantai jemur dengan rapih agar mudah dibolak balik dan dikumpulkan sesudah kering. Penjemuran sebaiknya dilakukan ditempat yang bebas menerima sinar matahari. penjemuran sebaiknya dilakukan pada pukul 07.00-16.00 atau tergantung pada intensitas panas sinar matahari.

Pengering secara alami mempunyai kelemahan antara lain [19].

- b. Memerlukan banyak tenaga kerja untuk menebarkan, membalik dan mengumpulkan kembali.
- c. Sangat bergantung dengan cuaca, sehingga rak telur tidak dapat dikeringkan apabila cuaca buruk terlebih-lebih apabila hujan datang pada saat sedang menjemur.
- d. Memerlukan lahan yang luas.
- e. Sulit mengukur suhu dan laju pengeringan diatas semen atau alas logam.

## 2. Pengeringan Buatan

Pengering buatan adalah metode pengeringan dengan menggunakan bantuan alat pengering. Pengeringan buatan memiliki kelebihan dibanding pengering alami yaitu waktu pengeringan yang begitu singkat dan rak telur yang dikeringkan lebih bersih dan terlindung dari debu, hujan dan lain-lain. Pengeringan buatan bermacam-macam yaitu dengan menggunakan oven listrik atau dengan menggunakan oven tungku yang berbahan bakar arang (tempurung kelapa, cangkang sawit, dll), batubara dan kayu, serta dengan menggunakan oven yang dipasang roda berjalan. salah satu pengering buatan yang banyak digunakan adalah jenis oven pengering yang dipasang roda berjalan (belt conveyort dryer) [20].

### M. Alat Penukar Kalor (Heat exchanger)

Alat penukar kalor (heat exchanger) merupakan alat yang berfungsi untuk menurunkan dan atau meningkatkan temperatur sebuah sistem dengan memanfaatkan suatu media pendingin atau pemanas sehingga kalor dapat berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Tujuan dari alat penukar kalor tersebut adalah untuk mengontrol suatu sistem (temperatur) dengan menambahkan atau menghilangkan energi termal dari suatu fluida ke fluida lainnya. walaupun ada banyak perbedaan ukuran, dan perbedaan jenis alat penukar kalor. semua alat penukar kalor menggunakan element-element kondisi termal yang pada umumnya berupa tabung "tube" atau plat untuk memisahkan dua fluida [21].



terdapat dua aliran penukaran panas yaitu penukaran panas dengan aliran searah (co-current) dan penukaran panas dengan aliran berlawanan arah (counter-current)

### 1. Aliran Co-current

Penukaran panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar yang sama, mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter penukar jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari alat penukar panas tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas, sehingga diperlukan media pendingin atau pemanas yang banyak.

### 2. Aliran Counter-current

Penukaran panas jenis ini, kedua fluida (panas dan dingin) masuk dan keluar pada sisi yang berlawanan. Temperatur fluida dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar dari penukar kalor, sehingga dianggap lebih baik dari aliran searah.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Maret 2019 hingga Juni 2019

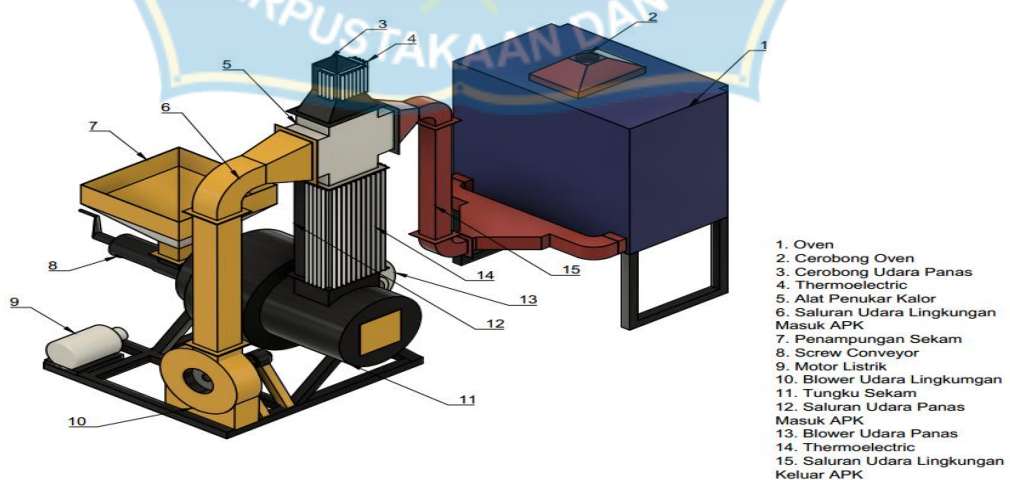
Tempat : 1. Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin,  
jl. Borong loe, Bonto marannu, kabupaten Gowa, Sulsel  
2. *workshop* milik PT. Rak Nusantara selaku salah satu produsen penghasil rak telur yang berada di kelurahan Batu Lappa, Kecamatan Wattang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang

#### B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

##### 1. Alat

##### a. Mesin pengering rak telur



Gambar 3.1 Mesin pengering rak telur

b. Timbangan Digital

Timbangan Digital digunakan untuk menimbang sampah yang akan dimasukkan ke dalam insinerator.



Gambar 3.2 Timbangan Digital

c. Display dan termokopel

Display dan termokopel digunakan untuk mengukur temperatur pada titik pengukuran yang ditelah ditentukan.



Gambar 3.3 Pengukur temperatur digital

d. Multimeter digital

Multimeter digital berfungsi sebagai pengukur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator termoelektrik



Gambar 3.4 Multimeter Digital

e. Lampu Led

Lampu led berfungsi sebagai beban sekaligus sebagai alat pendeteksi daya yang dihasilkan generator termoelektrik



Gambar 3.5 lampu Led

f. Power Supply

Power supply sebagai sumber arus listrik untuk menjalankan kipas (*Fan*).



Gambar 3.6 Power Supply

g. Dudukan TEG

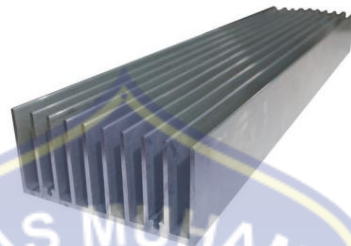
Pelat Aluminium ukuran 100 cm x 50 cm yang diberi isolator pada 3 sisi berfungsi sebagai dudukan TEG yang ditempatkan pada badan atas insinerator.



Gambar 3.7 Dudukan TEG

#### h. Heatsink

*Heatsink* berfungsi sebagai penghantar panas dipasang pada sisi dingin termoelektrik



Gambar 3.8 Heatsink

#### i. Kipas (*Fan*)

Kipas berfungsi untuk melepaskan panas pada sisi dingin termoelektrik yang dipasang di atas heatsink



Gambar 3.9 Kipas (*Fan*)

## 2. Bahan

### a. Termal pasta

Termal pasta berfungsi untuk merekatkan modul termoelektrik pada *heatsink*.



Gambar 3.10 Termal pasta

### b. Fom A dan fom B

Fom A dan Fom B berfungsi sebagai isolator untuk dudukan modul.

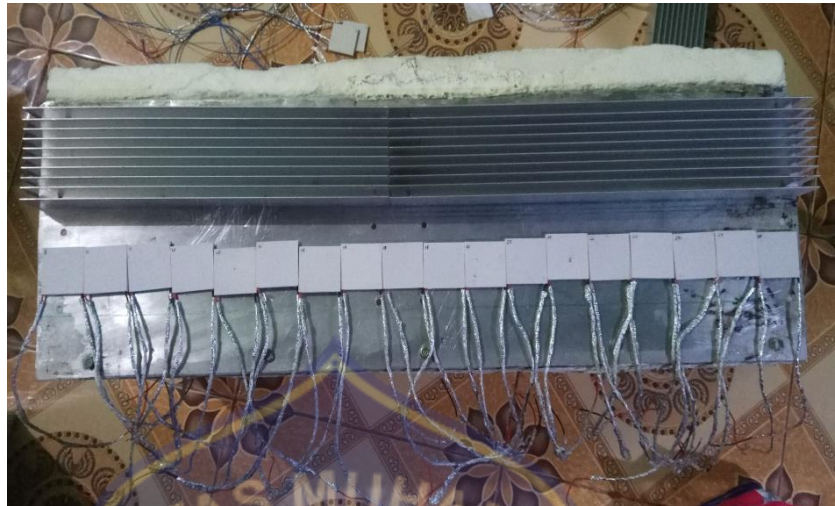


Gambar 3.11 Fom A dan Fom b

## C. Instalasi TEG pada dudukan

Prosedur instalasi TEG pada dudukan sebagai berikut:

1. Pemasangan TEG pada bodi aluminium yang telah diberi termal pasta dan kabelnya dilapisi aluminium foil.



Gambar 3.12 Pemasangan TEG padaudukan

2. Pemasangan termokopel, matras, *heatsink* dan kipas padaudukan bodi aluminium.



Gambar 3.13 Pemasangan matras dan heatsink padaudukan TEG



3. Pemasanganudukan TEG pada cerobong bawah insinerator.



Gambar 3.14 Dudukan TEG pada cerobong atas dan bawah insinerator

4. Pemasangan kabel termokopel dihubungkan ke display pembaca temperatur.



Gambar 3.15 Pemasangan kabel termokopel ke display

5. Ujung kabel merah dan kabel hitam TEG di hubungkan ke display multimeter untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan.

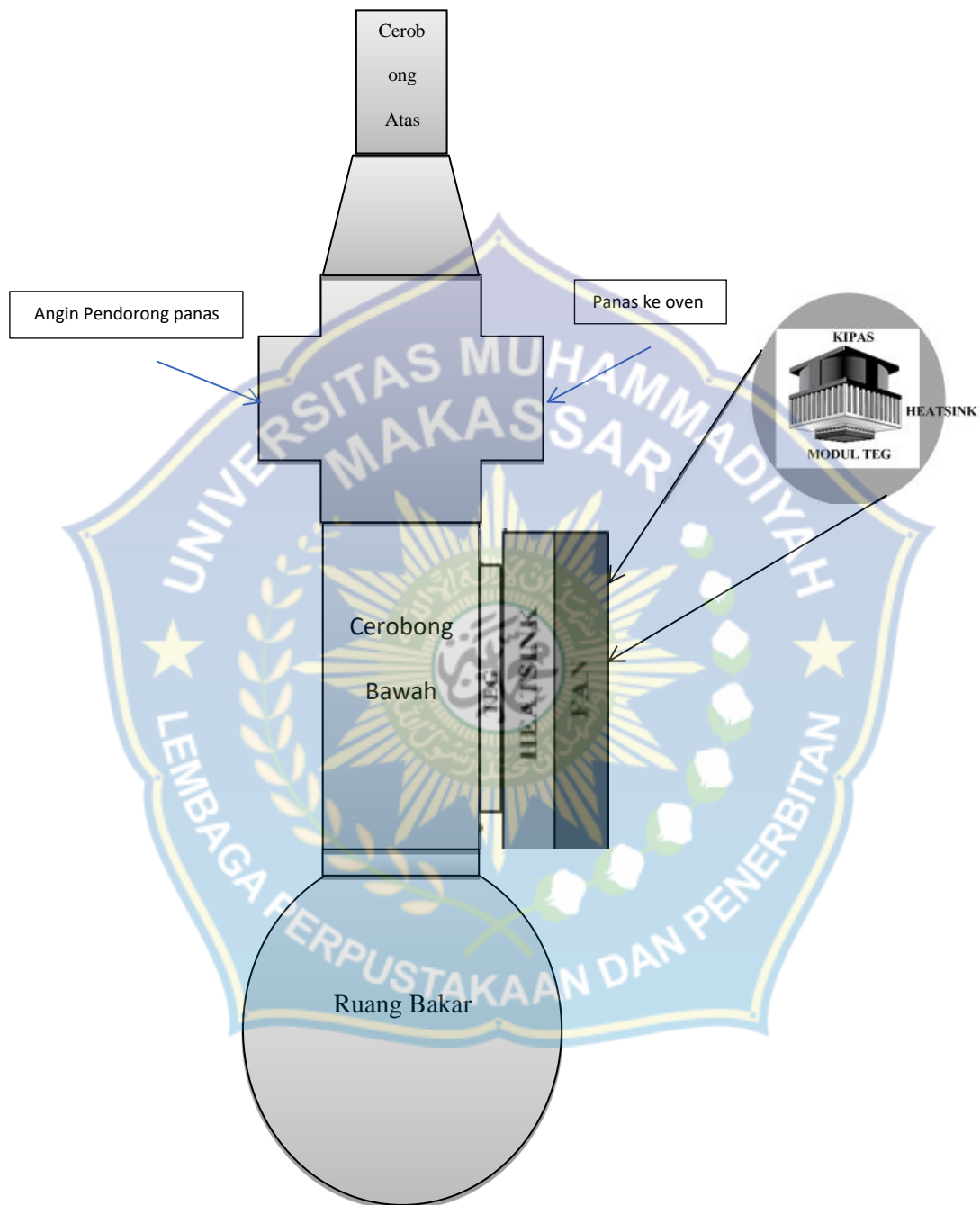


Gambar 3.16 Kabel TEG dihubungkan ke multimeter

#### D. Metode Pengujian

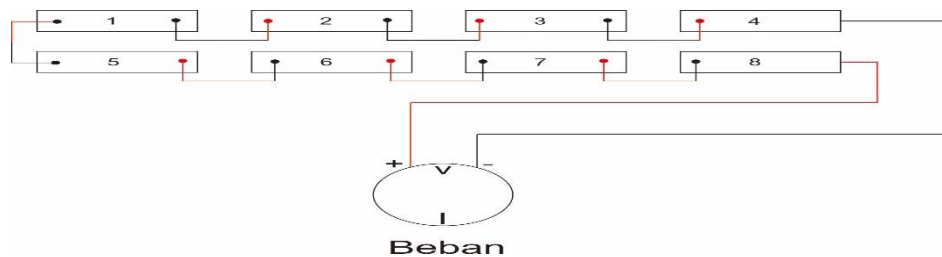
1. *Power Supply*, kipas pendingin, display pembaca temperatur, multimeter diset dalam posisi on.
2. Sekam padi dimasukkan ke ruang bakar insinerator sampai penuh lalu dibakar dan blower dinyalakan untuk suplai udara ke ruang bakar.
3. Pencatatan data temperatur dan tegangan yang dihasilkan dilakukan setiap 5 menit selama 60 menit.

### E. Skema Rancangan Instalasi Pengujian Dan Sistem Pengukuran



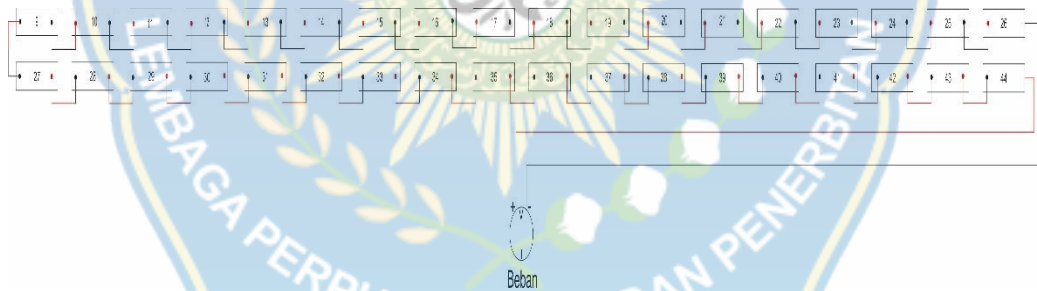
Gambar 3.17 Rancangan instalasi pengujian

### Skema rancangan titik pengukuran pada Generator Termoelektrik



Gambar 3.18 Rangkaian modul corobong atas

Gambar 3.18 merupakan rangkaian modul tunggal dengan 8 TEG yang disusun secara menyebar dengan rangkaian seri listrik. Adapun konektifitas kabelnya sebagai berikut: Kabel merah (+) TEG 1 dihubungkan dengan kabel hitam (-) TEG 2, kabel hitam (-) TEG 1 dihubungkan dengan kabel merah (+) TEG berikutnya, 8 titik dari TEG ini dipasang disisi dibagian depan Cerobong.



Gambar 3.19 Rangkaian modul corobong bawah

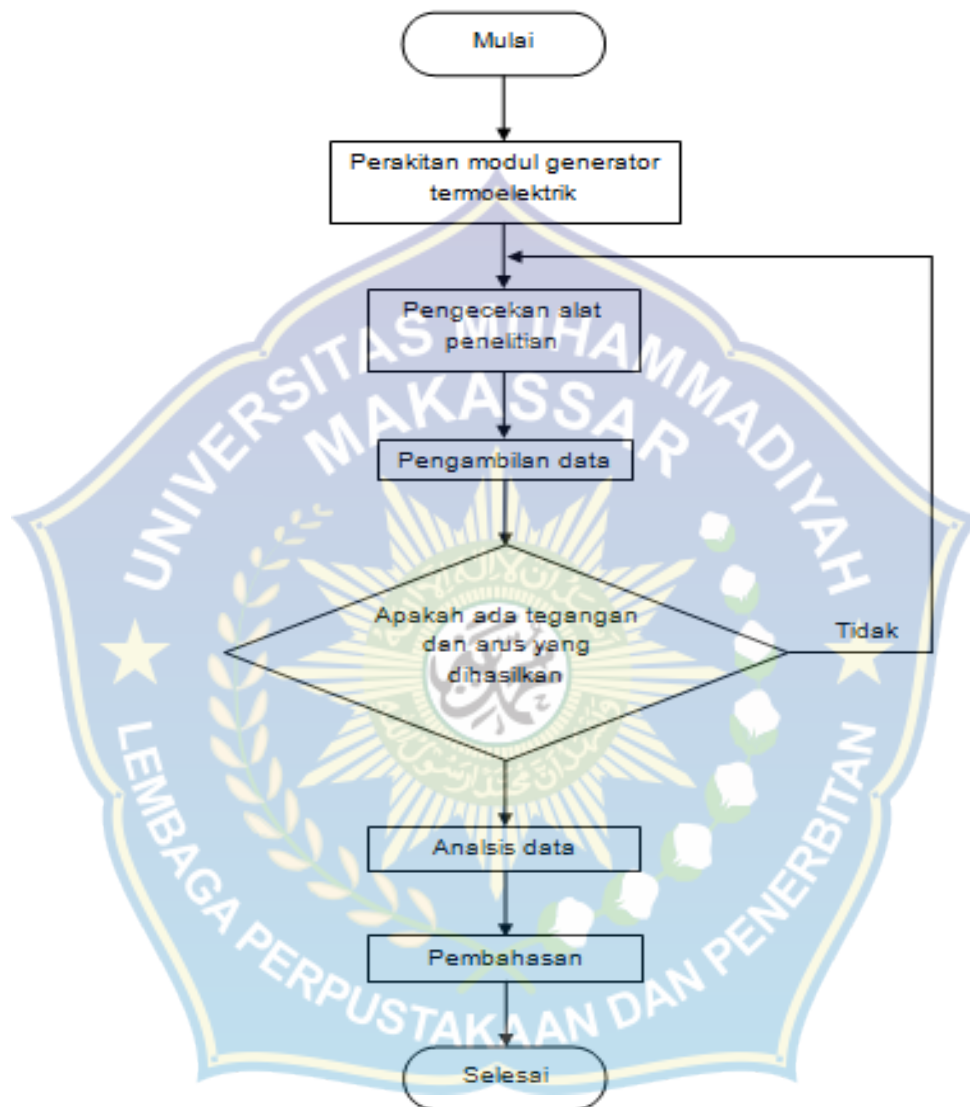
Gambar 3.19 merupakan rangkaian modul tunggal dengan 44 TEG yang disusun secara menyebar dengan rangkaian seri listrik. Adapun konektifitas kabelnya sebagai berikut: Kabel merah (+) TEG 1 dihubungkan dengan kabel hitam (-) TEG 2, kabel hitam (-) TEG 1 dihubungkan dengan kabel merah (+) TEG berikutnya, 36 titik dari TEG ini dipasang disisi dibagian depan Cerobong.

## F. Metode Pengumpulan Data

Setelah dilakukan pemasangan Termoelektrik Generator pada dinding insinerator, proses pembakaran sampah dilakukan dan pengambilan data secara eksperimental dengan variasi *thermoelektrik* pada cerobong oven pengeringan rak telur.

1. Sebelum proses pembakaran dimulai pada insinerator dioperasikan, seluruh bagian sistem dan peralatan pengukuran dalam kondisi baik.
2. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan setiap 5 menit setelah proses pembakaran dimulai, meliputi:
  - a. Pengukuran temperatur pada mesin pengering rak telur meliputi :
    - b. Badan (permukaan dinding ruang bakar)
    - c. Cerobong bawah (tempat dudukan TEG)
    - d. Cerobong atas (tempat dudukan TEG)
    - e. Temperatur lingkungan
    - f. Temperatur sisi panas TEG
    - g. Temperatur sisi dingin TEG
    - h. Temperatur *heatsink*
    - i. Tegangan yang dihasilkan TEG

### G. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.18 Diagram alir penelitian

#### 4 Rencana Dan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Rencana dan jadwal penelitian

No.	Uraian kegiatan	Bulan/Tahun			Bulan/Tahun		
		Feb 2019	Mrt 2019	Apr 2019	Mei 2019	Juni 2019	Juli 2019
1.	Studi pustaka						
2.	Penyusunan proposal						
3.	Seminar proposal						
4.	Penelitian						
5.	Seminar hasil						
6.	Ujian tutup						

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisa data dan perhitungan

Sebagai contoh perhitungan, diambil dari modul dirangkaian seri termal seperti pada gambar (3-17) pada cerobong bawah dengan TEG 36 dengan menit ke 35 dan sampah sekam padi dengan data-data sebagai berikut:

- Temperatur sisi panas rerata ( $T_h$ ) 179 °C

$$T_h = \frac{\text{seluruh sisi panas TEG}}{\text{jumlah TEG}} = \frac{7.876}{44} = 179 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatur sisi dingin rerata ( $T_c$ ) 86 °C

$$T_c = \frac{\text{seluruh sisi dingin TEG}}{\text{jumlah TEG}} = \frac{3.784}{44} = 86 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Beda tegangan rerata ( $\Delta V$ ) 5,44 V
- Beda temperatur rerata ( $\Delta T$ ) 93 °C

$$(\Delta T) = T_h - T_c = 179 - 86 = 93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Tahanan modul ( $R_i$ ) TEG 146,9 Ohm
- Tahanan beban ( $R_L$ ) 298,3 Ohm

Koefisien Seebeck ( $\alpha$ ) dihitung dengan persamaan (2.1):

$$\alpha = \frac{\Delta V}{(T_h - T_c)} \quad \alpha = \frac{5,44}{(179 - 86)^\circ\text{C}} = \frac{5,44}{93} = 0,058 \text{ V}/^\circ\text{C}$$



Arus listrik ( $I$ ) dihitung dengan persamaan (2.2):

$$I = \frac{\alpha (T_h - T_c)}{R_i + R_L}$$

$$= \frac{0,058(179 - 86)}{146,9 + 298,3} = \frac{0,058 \times 93}{445,2} = \frac{5,394}{445,2} = 0,012 \text{ A}$$

Panas yang diserap ( $Q_H$ ) dihitung dengan persamaan (2.3)

$$Q_H = (\alpha I T_h) + k(T_h - T_c)$$

Di mana  $k$  adalah konduktivitas termal modul  $0,9977 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$$Q_H = (0,058 \times 0,012 \times 179) + 0,9977(179 - 86)$$

$$= (0,058 \times 0,012 \times 179) + 0,9977(93)$$

$$= 92,914 \text{ Watt}$$

Daya ( $P$ ) yang dihasilkan dihitung dengan persamaan (2.4):

$$P = I^2 \cdot R_L$$

$$= (0,012)^2 \times 298,3$$

$$= 0,0445 \text{ Watt}$$

Daya yang dihasilkan dikalikan dengan luas permukaan pelat dibagi luas permukaan 8 TEG dengan data sebagai berikut:

- Panjang pelat  $74 \text{ cm} = 0,74 \text{ m}$
- Lebar pelat  $22 \text{ cm} = 0,22 \text{ m}$
- Panjang modul TEG  $4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$
- Lebar modul TEG  $4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$

$$\text{Luas permukaan pelat} = 0,74 \times 0,22 = 0,1628 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas permukaan 36 TEG} = 0,04 \times 0,04 \times 36 = 0,0576 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas total} = \frac{\text{Luas Permukaan plat}}{\text{Luas permukaan Teg}} = \frac{0,1628}{0,0576} = 2,826 \text{ m}^2$$

$$\text{Sehingga daya (P) yang dihasilkan} = 0,0445 \times 2,826 = 0,12858 \text{ Watt}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) modul TEG dapat dihitung dengan persamaan (2.5):

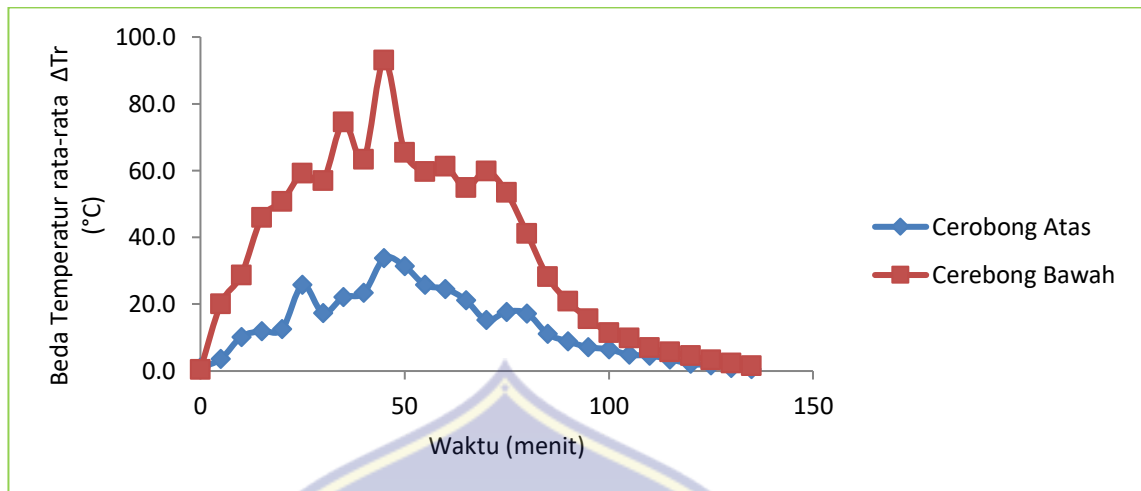
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P}{Q_h} \times 100 \\ &= \frac{0,0455}{92,914} \times 100 \\ &= 0,1355 \% \end{aligned}$$

## B. Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh data-data parameter prestasi TEG sebagai berikut :

### 1. Temperatur Api rerata ( $T_A \text{ avg}$ )

Modul tunggal merupakan rangkaian koneksitas antar modul termoelektrik yang disusun secara seri pada permukaan pelat aluminium dengan menggunakan 8 buah pada cerobong atas dan 36 buah pada cerobong bawah (gambar 3.19)

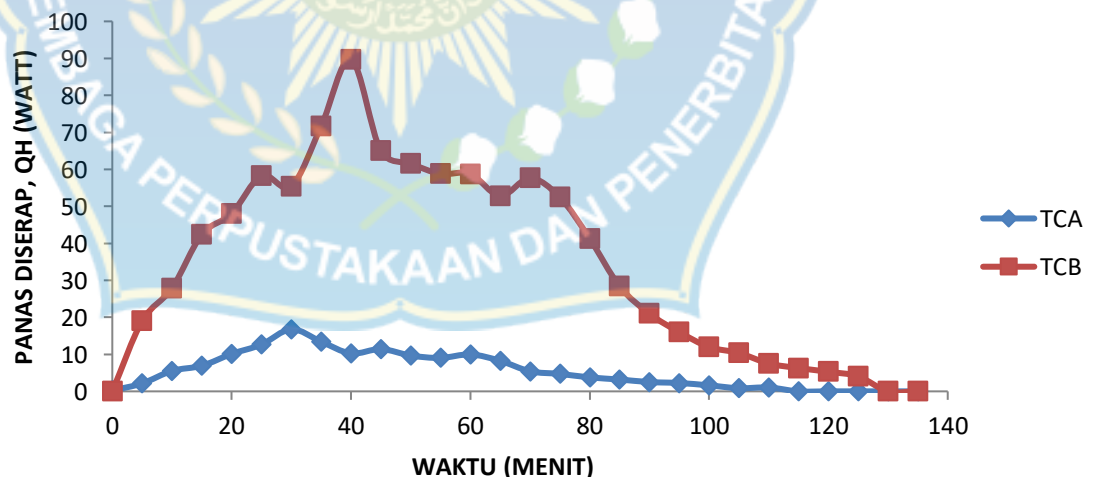


Gambar 4.1 Sejarah Temperatur Api rerata ( $T_A$  avg) pada cerobong atas dan bawah

Gambar 4.1 menunjukkan sejarah beda temperatur api rata-rata menggunakan sekam padi sebagai bahan bakar. Cerobong atas dari menit awal sampai menit ke 25 mengalami kenaikan hal ini disebabkan karena di menit tersebut awal mulaan pembakaran, dan mengalami penurunan di menit ke 30 disebabkan karena temperatur di ruang tungku pembakaran menurun dikarenakan sekam terlambat dimasukan karena manual. Dan mengalami panas tertinggi pada menit ke 45 dengan nilai  $33,8^{\circ}\text{C}$ , mengalami penurunan di menit berikutnya hingga menit ke 70 hal ini disebabkan karena perbedaan temperatur juga ikut turun dan efisiensi dari media pendingin tidak lagi membuat perbedaan temperatur yang baik. Pada saat menit berikutnya mengalami naik lalu turun lagi dan kami memutuskan untuk mematikan mesin pengering rak telur dikarenakan TEG telah mengalami titik puncaknya pada menit ke 45 namun kami masih mengambil data hingga mencapai suhu ruangan pada menit ke 135 dikarenakan masih ada tegangan yang dihasilkan. dan pada cerobong bawah yang mengalami kenaikan sejak menit awal pembakaran hingga menit

ke 25 mengalami kenaikan hal ini disebabkan karena di menit tersebut awal mulaan pembakaran, dan mengalami penurunan di menit ke 30 dan menit ke 40 disebabkan karena temperatur di ruang tungku pembakaran menurun dikarenakan sekam terlambat dimasukan karena manual. Dan mengalami panas puncak pada menit ke 45 dengan nilai 93,1°C, mengalami penurunan di menit berikutnya hingga menit ke 70 hal ini disebabkan karena perbedaan temperatur juga ikut turun dan efisiensi dari media pendingin tidak lagi membuat perbedaan temperatur yang baik. Pada saat menit berikutnya mengalami naik lalu turun lagi dan kami memutuskan untuk mematikan mesin pengering rak telur dikarenakan TEG telah mengalami titik puncaknya pada menit ke 45 namun kami masih mengambil data hingga mencapai suhu ruangan dan  $\Delta T$  hampir mendekati 0°C

## 2. Panas yang diserap (QH)



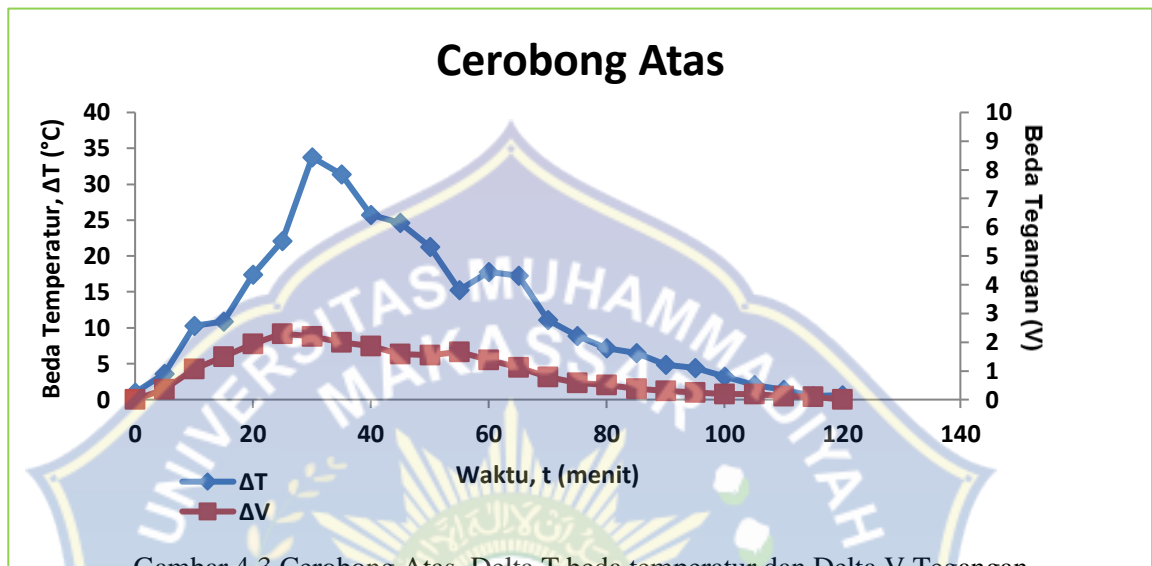
Gambar 4.2 Panas yang dapat diserap oleh Termoelektrik Generator (TEG)

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa panas yang dapat diserap oleh Termoelektrik Generator (TEG) Cerobong atas dari menit awal mengalami kenaikan dan mengalami puncak pada menit 30 mengalami kenaikan hal ini

disebabkan karena di menit tersebut awal mulaan pembakaran hingga mencapai puncak dengan nilai 16,79watt, dan mengalami penurunan di menit ke 35 hingga menit ke 70 dan kami memutuskan untuk mematikan mesin pengering rak telur dikarenakan TEG telah mengalami titik puncaknya pada menit ke 45 namun kami masih mengambil data hingga mencapai suhu ruangan pada menit ke 135 dikarenakan masih ada tegangan yang dihasilkan. Dan cerobong bawah dari menit awal sampai menit ke 25 mengalami kenaikan hal ini disebabkan karena di menit tersebut awal mulaan pembakaran, dan mengalami penurunan di menit ke 30 disebabkan karena temperatur di ruang tungku pembakaran menurun dikarenakan sekam terlambat dimasukkan karena manual. Dan mengalami panas yang diserap tertinggi pada menit ke 45 dengan nilai 89,71 watt, mengalami penurunan di menit berikutnya hingga menit ke 70 hal ini disebabkan karena perbedaan temperatur juga ikut turun dan efisiensi dari media pendingin tidak lagi membuat perbedaan temperatur yang baik. Pada saat menit berikutnya mengalami naik lalu turun lagi dan kami memutuskan untuk mematikan mesin pengering rak telur dikarenakan TEG telah mengalami titik puncaknya pada menit ke 45 namun kami masih mengambil data hingga mencapai suhu ruangan pada menit ke 135 dikarenakan masih ada tegangan yang dihasilkan

Tegangan Yang Dihasilkan Cerobong Atas Dan Cerobong Bawah yaitu seperti pada grafik berikut.

a. Cerobong Atas

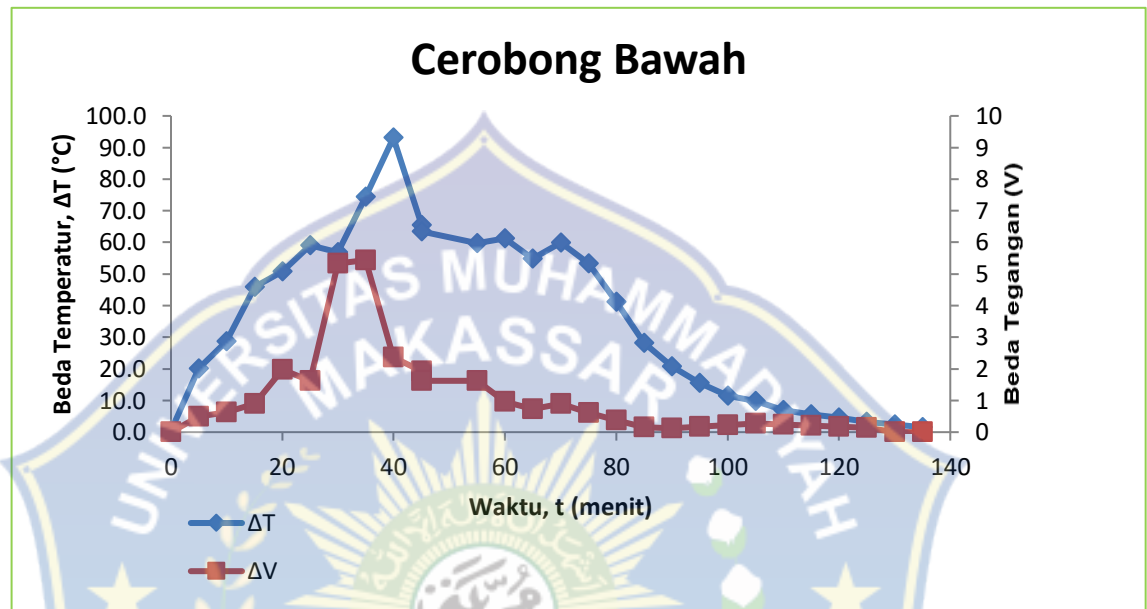


Gambar 4.3 Cerobong Atas, Delta T beda temperatur dan Delta V Tegangan

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada menit awal pada cerobong atas mengalami kenaikan yang puncaknya pada menit 30 dengan  $\Delta T$  dan  $\Delta V$  yang nilai masing masingnya yaitu: (33,75  $^{\circ}\text{C}$ ) dan (2,2 V). Hal ini dikarenakan media pendingin dari modul termoelektrik masih sangat baik untuk mendinginkana sisi dingin termoelektrik sehingga menghasilkan beda temperatur  $\Delta T$  yang cukup baik. Di menit berikutnya mengalami penurunan dikarenakan media pendingin tidak lagi efisien mendinginkan sisi dingin dari termoelektrik tersebut. Setelah mengalami penurunan perbedaan temperatur  $\Delta T$  dalam beberapa menit kami putuskan untuk menghentikan pengoperasian pengering rak telur namun kami masih mengambil data dikarenakan masih ada tegangan yang dihasilkan oleh termoelektrik tersebut.

Disimpulkan bahwa  $\Delta T$  berbanding lurus dengan  $\Delta V$ , semakin besar  $\Delta T$  maka semakin besar pula  $\Delta V$  yang dihasilkan.

b. Cerobong Bawah



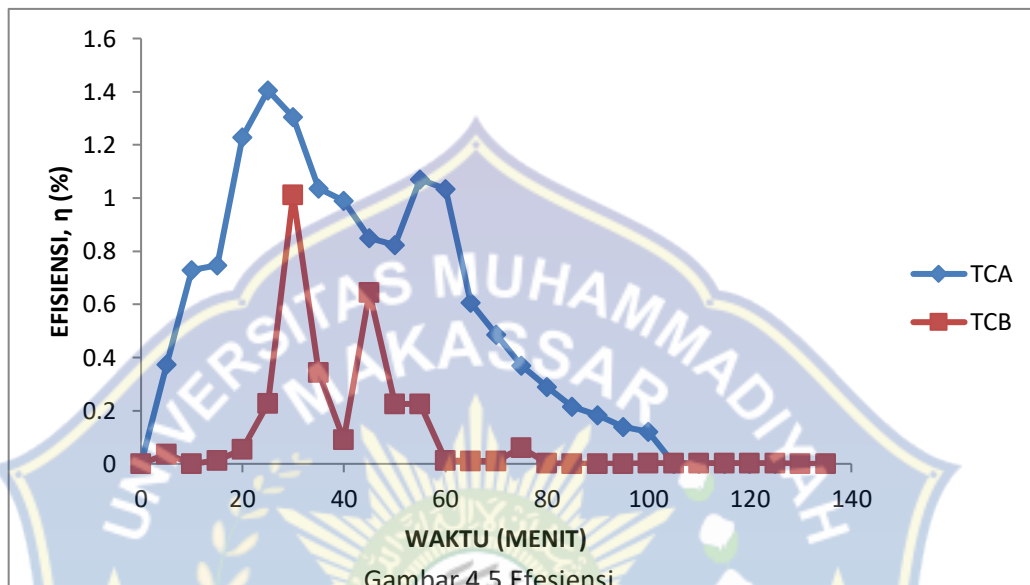
Gambar 4.4 Cerobong Bawah, Delta T beda temperatur dan Delta V

Tegangan

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada menit awal pada cerobong bawah mengalami kenaikan yang puncaknya pada menit 40 dengan  $\Delta T$  dan  $\Delta V$  yang nilai masing masingnya yaitu: (93,1  $^{\circ}\text{C}$ ) dan (5,44  $\text{V}$ ). Hal ini dikarenakan media pendingin dari modul termoelektrik masih sangat baik untuk mendinginkana sisi dingin termoelektrik sehingga menghasilkan beda temperatur  $\Delta T$  yang cukup baik. Di menit berikutnya mengalami penurunan dikarenakan media pendingin tidak lagi efisien mendinginkan sisi dingin dari termoelektrik tersebut. Setelah mengalami penurunan perbedaan temperatur  $\Delta T$ . dalam beberapa menit kami memutuskan untuk menghentikan pengoperasian pengering rak telur namun kami masih mengambil data dikarenakan masih ada tegangan yang dihasilkan oleh termoelektrik tersebut.

Disimpulkan bahwa  $\Delta T$  berbanding lurus dengan  $\Delta V$ , semakin besar  $\Delta T$  maka semakin besar pula  $\Delta V$  yang dihasilkan

### C. efisiensi ( $\eta$ )



Gambar 4.5 Efisiensi

Gambar 4.5 Menunjukkan efisiensi pada cerobong atas dan cerobong bawah dimana pada cerobong atas mengalami kenaikan tingkat efisiensi sejak menit awal hingga mencapai puncak pada menit 25 dikarenakan perbedaan temperatur diatas cukup baik disebabkan media pendingin masih cukup baik mendinginkan sisi dingin TEG tersebut. Mengalami penurunan di menit berikutnya hingga menit ke 50 dengan nilai 0,82% di menit di menit berikutnya mengalami kenaikan lagi pada menit 55 dan kembali turun pada menit berikutnya dikarenakan pada modul TEG telah mengalami puncaknya pada menit ke 25. Setelah melihat dari penurunan efisiensi dari modul TEG kami putuskan untuk mematikan mesin namun kami masih mengambil data karena masih ada tegangan yg dihasilkan disebabkan masih ada pula



perbedaan temperatur dari TEG tersebut. Begitupun proses pada cerobong bawahnya, namun dapat disimpulkan bahwa efisiensi dari cerobong atas lebih tinggi dibandingkan cerobong bawah dikarenakan tingkat perbedaan temperatur rata-rata pada cerobong atas lebih tinggi dibandingkan dengan cerobong bawah. Walaupun cerobong tingkat panas yang diterima lebih tinggi dibandingkan dengan cerobong atas namun perbedaan temperatur yang di atas lebih tinggi. Dimana semakin tinggi perbedaan temperatur atau  $\Delta T$  maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data yang dilakukan pada penelitian pemanfaatan panas cerobong sebagai energi listrik menggunakan generator termoelektrik dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Energi panas pada mesin pengeringan rak telur untuk cerobong atas memiliki temperatur rata-rata Tertinggi sebesar  $33,8^{\circ}\text{C}$  sedangkan untuk temperatur cerebong bawahnya memiliki temperatur rata-rata tertinggi sebesar  $93,1^{\circ}\text{C}$ .
2. Energi panas yang dikonversi menjadi daya listrik mengalami peningkatan seiring bertambahnya perbandingan temperatur sisi panas dengan sisi dingin. Tegangan listrik yang dihasilkan untuk modul tunggal rangkaian seri untuk cerobong atas (8 TEG) dengan bahan bakar limbah padi dihasilkan dengan nilai rata-rata tertinggi sebesar 2,3 volt sedangkan pada cerobong bawah untuk modul tunggal rangkaian seri (36 TEG) dihasilkan dengan nilai rata-rata tertinggi memiliki Tegangan sebesar 5,44 Volt.
3. Kinerja dari termoelektrik generator menunjukkan potensi yang cukup menjanjikan sebagai sumber energi alternatif. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan efisiensi yang dihasilkan dengan menggunakan rangkaian seri pada tiap cerobong atas dan bawah. Rangkaian seri pada modul TEG menghasilkan efisiensi untuk modul tunggal untuk cerobong atas

memiliki efisiensi rata-rata tertinggi dengan nilai 1,405244% dan untuk cerobong bawah memiliki efisiensi rata-rata tertinggi sebesar 1,012106%.

## B. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Penggunaan *heatsink* dapat diganti dengan *heat pipe* untuk mendapatkan beda temperatur yang lebih maksimal antara sisi panas ( $T_h$ ) dan sisi dingin ( $T_c$ ) modul TEG sehingga tegangan yang dihasilkan lebih besar.
2. Dapat divariasikan dengan menambahkan susunan TEG untuk mendapatkan daya yang lebih besar.
3. Durasi penelitian diperpanjang sehingga mendapatkan hasil yang baik
4. TEG dipasang disemua sisi, depan, belakang, kanan dan kiri.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pudjanarsa A dan Nursuhud D.2008. *“Mesin Konversi Energi”*. CV. Andi Offset, Yogyakarta.
- [2] Pusat data dan informasi energi dan sumber daya mineral Kementrian ESDM, 2012. *“Kajian Indonesia Energi Outlook”*.Jakarta.
- [3] G. Min, D.M. Roe, *Handbook of thermoelectrics, Peltier devices as generator*, CRC Press LLC, Florida, 1994, p.479.
- [4]. Rafika Hasra, dkk. 2017. *“Kaji Ekperimental Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik Generator (TEG) dengan Pendinganan Udara”*. No.15 Vol. 1 Hal. 7-11.
- [5] B Syarifuddin. 2018. *“Analisis Efektivitas Alat Penukar Kalor pada Mesin Pengeringan Rak Telur dengan Tungku Berbahan Bakar Sekam Padi”*. Universitas Hasanuddin,Gowa.
- [6] Djafar Zuryati, dkk. 2013. *“ The Utilization of Heat Pipe on Cold Surface of Termoelektrik with Low-Temperature Waste Heat”*. ISSN 1662-7482, Vol.302, pp 410-415.
- [7] Djafar Zuryati, dkk. 2014 *“Ekperimental Test of the Thermoelektric Performance on the Dispencer Cooler”*. Universitas Hasanuddin,Gowa.
- [8] Najjar Yousef S.H dan Musaab Kseibi.2017. *“Evaluation of Ekperimental Just Thermoelektric Stove for Elektriciry-Deprived Regions”*. Mechanical

Engineering Department, Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan.

- [9] Sayamsuddin Usman, dkk. 2018. "Heat Utilization of Incinerator Chimneys as Mini Power Generator Based on Thermoelektric". eISSN 2621-0541 Volume 1, Number 1, February 2018, pp. 1-2. DOI: 10.25042/epi-ije.022018.01
- [10] [Repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/4100/Chapter%2011.pdf?](http://Repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/4100/Chapter%2011.pdf?)  
diakses pada tanggal 23 november 2018.
- [11] Mit G.Chen. " *Thermoelektric Effect & Thermoelektric Devices*"
- [12] Ismail Yehea dan Ahmed Al-Askalany. " *Thermoelectric Devices*". Center of Nanoelectronics and Devices The American University in Cairo, Egypt.
- [13] ilham Muhammad, dkk. 2013. " *Modul 3 Thermoelektrik*". Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- [14] J.P Holman. 2011. " Heat Transfer Tenth Edition". ISBN 978-0-07-352936-3—ISBN 0-07-352936-2 (hard copy : alk. paper).Department of Mechanical Engineering Southern Methodist University.
- [15] Cengel dan Y. A, Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition, Singapura: Mc. Graw- Hill Book, 2003.
- [16] <http://Vedcmalang.data> sheet 2015. Diakses pada tanggal 23 november 2018.

- [17] [Thermoelectrics.matsci.northwestern.edu/thermoelectrics/index.html](http://Thermoelectrics.matsci.northwestern.edu/thermoelectrics/index.html).  
Diakses pada tanggal 23 november 2018.
- [18] D. B. Brooker, F. W. B. Arena dan C. Hall, *Drying Cereal Grain*, Westport: The AVI Publishing Co Inc, 1957.
- [19] P. Kurniasih, "*Kelayakan Usaha Pembuatan Produk Kemasan Telur dari Kertas Limbah di Sumatra Barat*," *Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, vol. 10, no. 3, pp. 152-172, 2013.
- [20] W. M. Kays dan A. L. London, *Compact Heat exchanger*, Third Edition, Krieger Pob Co, 1998.
- [21] S. Kakac dan H. Liu, *Heat exchanger Selection, Rating and Thermal Design*, 2nd Ed, Florida: CRS Press, 1997.
- [22] Hasim hasan Talib. 2015. "*Full Spectrum Solar Energy Harvesting Using Nanotechnology-Enabled Photovoltaic/Thermoelectric Hybrid System*". Institut Of Energy School Of Engeneering Cardiff University.
- [23] Belkhaid Abdelhakim, dkk. 2017. "*Modeling and Simulation of Thermo Elektrical Generator with MPPT*". International Conference on Renewable Energy Research and Applications. San Diego, CA, USA, Nov.5-8

## LAMPIRAN 1 TABEL PENGAMATAN

### 1. Cerobong Atas

NO	WAKTU (MENIT)	TEMPERATUR TUNGKU (°C)	TEMPERATUR CEREBONG ATAS (°C)											
			Teg 1			Teg 2			Teg 3			Teg 4		
			Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)
1	0	32	34	33	1	33	33	0	33	33	0	34	33	1
2	5	95	40	35	5	39	36	3	38	35	3	39	35	4
3	10	100	50	39	11	49	40	9	47	38	9	47	37	10
4	15	209	55	40	15	55	42	13	53	38	15	52	49	3
5	20	582	66	40	26	63	48	15	60	45	15	62	46	16
6	25	562	75	46	29	71	51	20	68	47	21	69	48	21
7	30	336	84	40	44	80	55	25	76	49	27	76	50	26
8	35	332	87	53	34	79	60	19	75	53	22	75	53	22
9	40	505	75	54	21	73	56	17	69	51	18	68	51	17
10	45	342	73	47	26	70	51	19	66	46	20	66	47	19
11	50	405	68	48	20	65	49	16	63	45	18	62	46	16
12	55	372	66	49	17	64	49	15	61	45	16	61	44	17
13	60	295	70	50	20	67	51	16	64	47	17	64	45	19
14	65	84	65	50	15	63	49	14	61	46	15	61	44	17
15	70	68	50	46	4	56	45	11	55	43	12	55	42	13
16	75	58	52	43	9	51	43	8	49	40	9	50	41	9
17	80	53	49	42	7	47	41	6	47	39	8	47	40	7
18	85	49	45	39	6	44	38	6	43	37	6	43	37	6
19	90	46	42	37	5	41	37	4	41	36	5	41	36	5
20	95	44	40	35	5	39	35	4	39	35	4	39	35	4
21	100	42	39	35	4	38	35	3	37	35	2	38	35	3
22	105	40	37	34	3	36	35	1	35	35	0	36	34	2
23	110	40	36	34	2	36	34	2	35	34	1	35	34	1
24	115	38	35	34	1	34	34	0	34	34	0	35	34	1
25	120	35	34	33	1	34	33	1	33	33	0	34	33	1

TEMPERATUR CEREBONG ATAS (°C)												$\Delta V$ (Volt)	$R_i (\Omega)$	$R_L (\Omega)$
Teg 5			Teg 6			Teg 7			Teg 8					
Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)			
33	33	0	34	32	2	33	31	2	33	31	2	0	30,5	298,5
39	38	1	44	41	3	46	40	6	43	39	4	0,355	30,5	298,5
49	44	5	59	49	10	63	47	16	58	46	12	1,06	30,5	298,5
54	47	7	68	58	10	67	56	11	68	55	13	1,5	30,5	298,5
65	53	12	82	69	13	89	64	25	82	65	17	1,94	30,5	298,5
71	55	16	96	78	18	104	73	31	95	74	21	2,3	30,5	298,5
73	59	14	116	75	41	120	70	50	115	72	43	2,2	30,5	298,5
82	64	18	112	76	36	120	65	55	111	66	45	2	30,5	298,5
81	51	30	98	65	33	105	65	40	97	67	30	1,87	30,5	298,5
73	55	18	94	68	26	102	63	39	94	64	30	1,58	30,5	298,5
71	57	14	88	64	24	94	59	35	87	60	27	1,54	30,5	298,5
66	54	12	86	76	10	93	72	21	86	72	14	1,66	30,5	298,5
65	59	6	90	70	20	97	71	26	89	71	18	1,38	30,5	298,5
68	55	13	87	66	21	81	62	19	86	62	24	1,12	30,5	298,5
64	50	14	70	62	8	73	58	15	69	57	12	0,79	30,5	298,5
57	47	10	61	56	5	63	53	10	61	50	11	0,58	30,5	298,5
52	44	8	55	50	5	56	48	8	54	46	8	0,5	30,5	298,5
48	40	8	50	45	5	51	43	8	49	42	7	0,371	30,5	298,5
44	38	6	47	42	5	45	40	5	43	39	4	0,302	30,5	298,5
41	36	5	42	39	3	43	38	5	42	37	5	0,241	30,5	298,5
40	36	4	40	38	2	41	37	4	40	36	4	0,201	30,5	298,5
38	35	3	39	37	2	38	36	2	38	35	3	0,186	30,5	298,5
37	34	3	37	37	0	36	36	0	37	35	2	0,124	30,5	298,5
36	34	2	36	36	0	35	35	0	35	35	0	0,096	30,5	298,5
36	34	2	34	34	0	34	34	0	34	34	0	0	30,5	298,5



## 2. Cerobong Bawah

Putaran Blower Udara Lingkungan : 2800 rpm

Putaran Blower Udara Panas : 2600 rpm

Massa Bahan Bakar : 8 kg

Waktu Pengeringan : 120 menit

NO	WAKTU (MENIT)	TEMPERATUR TUNGKU (°C)	TEMPERATUR CEREBONG BAWAH (°C)											
			TEG 1			TEG 2			TEG 3			TEG 4		
			Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)
1	0	32	33	32	1	34	33	1	34	33	1	33	32	1
2	5	95	43	31	12	46	42	4	46	42	4	52	44	8
3	10	100	51	32	19	63	50	13	63	50	13	75	51	24
4	15	209	64	32	32	78	62	16	78	62	16	97	65	32
5	20	370	74	45	29	90	75	15	92	72	20	102	82	20
6	25	505	135	120	15	148	119	29	148	125	23	174	126	48
7	30	582	87	55	32	104	78	26	138	105	33	127	84	43
8	35	562	123	70	53	120	90	30	136	96	40	263	221	42
9	40	336	145	103	42	154	109	45	152	109	43	200	115	85
10	45	332	158	118	40	160	120	40	160	126	34	191	143	48
11	50	495	120	90	30	118	99	19	148	102	46	177	126	51
12	55	505	132	105	27	148	115	33	152	126	26	174	126	48
13	60	342	126	102	24	136	108	28	140	105	35	166	119	47
14	65	405	117	88	29	129	99	30	132	100	32	151	106	45
15	70	372	126	72	54	136	97	39	147	95	52	143	82	61
16	75	295	116	69	47	128	95	33	128	93	35	149	83	66
17	80	84	111	67	44	128	83	45	128	80	48	125	78	47
18	85	68	88	56	32	95	74	21	95	74	21	107	68	39
19	90	58	66	49	17	78	62	16	78	62	16	87	57	30
20	95	53	62	44	18	66	54	12	66	54	12	72	52	20
21	100	49	53	39	14	57	48	9	57	48	9	62	45	17
22	105	46	47	36	11	51	44	7	51	44	7	55	41	14
23	110	44	41	35	6	46	40	6	49	42	7	47	38	9
24	115	42	39	35	4	43	40	3	43	39	4	45	37	8
25	120	40	37	35	2	41	38	3	42	37	5	44	35	9
26	125	40	35	34	1	39	36	3	39	36	3	41	35	6
27	130	38	34	34	0	37	35	2	37	35	2	39	34	5
28	135	35	33	33	0	34	33	1	34	33	1	36	34	2

TEG 5			TEG 6			TEG 7			TEG 8			TEG 9			TEG 10		
Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)
33	32	1	33	33	0	33	32	1	33	33	0	32	32	0	32	32	0
51	40	11	55	41	14	51	43	8	53	42	11	51	40	11	51	42	9
73	46	27	75	49	26	70	53	17	71	50	21	69	47	22	69	50	19
93	58	35	98	58	40	90	60	30	91	60	31	88	56	32	88	60	28
95	68	27	104	62	42	111	78	33	115	70	45	102	64	38	110	68	42
168	111	57	179	112	67	165	122	43	166	106	60	164	102	62	164	110	54
123	73	50	128	77	51	118	83	35	119	75	44	119	70	49	119	75	44
157	90	67	166	94	72	152	105	47	153	94	59	154	89	65	154	93	61
189	99	90	203	104	99	188	118	70	192	110	82	189	99	90	189	103	86
185	112	73	297	220	77	180	136	44	181	115	66	174	107	67	174	114	60
168	96	72	179	100	79	165	115	50	166	106	60	164	92	72	164	100	64
168	111	57	179	112	67	165	122	43	166	106	60	164	102	62	164	110	54
159	94	65	169	99	70	150	109	41	150	94	56	155	89	66	155	97	58
146	98	48	155	95	60	143	104	39	142	86	56	155	84	71	155	95	60
152	87	65	140	101	39	142	94	48	148	87	61	150	89	61	150	92	58
145	85	60	153	102	51	141	95	46	142	88	54	142	82	60	142	92	50
132	82	50	122	98	24	119	80	39	125	80	45	124	69	55	124	83	41
104	73	31	110	88	22	102	75	27	99	71	28	102	62	40	102	75	27
85	58	27	89	62	27	83	63	20	80	61	19	79	52	27	79	62	17
71	47	24	74	53	21	92	75	17	67	52	15	65	47	18	65	53	12
60	45	15	62	48	14	59	48	11	57	46	11	56	43	13	56	48	8
53	41	12	55	43	12	52	44	8	51	43	8	50	40	10	50	43	7
46	37	9	47	40	7	45	39	6	44	39	5	44	37	7	44	39	5
44	36	8	45	39	6	43	37	6	41	37	4	43	36	7	42	38	4
41	35	6	43	37	6	40	36	4	39	36	3	40	35	5	40	36	4
39	35	4	40	35	5	38	35	3	36	35	1	38	35	3	38	34	4
36	34	2	39	35	4	37	35	2	36	34	2	35	34	1	37	33	4
35	33	2	36	33	3	35	34	1	35	34	1	33	33	0	35	33	2

TEG 11			TEG 12			TEG 13			TEG 14			TEG 15		
Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)
33	33	0	32	32	0	33	32	1	32	32	0	32	32	0
58	40	18	56	38	18	58	45	13	61	42	19	58	40	18
79	46	33	75	43	32	76	58	18	77	48	29	80	44	36
104	55	49	99	55	44	99	65	34	109	61	48	106	55	51
115	60	55	115	62	53	120	84	36	119	64	55	121	69	52
174	106	68	171	93	78	162	121	41	174	100	74	159	100	59
133	69	64	129	67	62	133	90	43	145	73	72	129	72	57
170	80	90	164	89	75	164	110	54	177	91	86	162	97	65
211	95	116	205	92	113	204	120	84	217	100	117	200	110	90
190	113	77	187	98	89	178	135	43	190	108	82	174	113	61
174	91	83	171	90	81	162	115	47	174	100	74	174	100	74
174	106	68	171	93	78	162	121	41	174	100	74	159	100	59
164	94	70	161	85	76	153	105	48	164	89	75	148	87	61
149	89	60	142	84	58	138	98	40	159	85	74	135	86	49
146	83	63	140	76	64	151	94	57	138	84	54	149	71	78
149	83	66	146	76	70	139	97	42	149	81	68	136	79	57
123	75	48	122	68	54	115	84	31	119	71	48	110	69	41
102	66	36	99	62	37	93	71	22	96	63	33	88	62	26
82	57	25	80	53	27	76	59	17	78	53	25	72	52	20
68	50	18	66	47	19	64	51	13	65	47	18	60	46	14
59	45	14	57	43	14	56	46	10	56	43	13	53	42	11
52	42	10	51	40	11	51	43	8	51	40	11	48	40	8
45	38	7	45	37	8	44	39	5	44	38	6	43	37	6
43	37	6	43	36	7	42	38	4	43	37	6	41	36	5
40	36	4	41	36	5	40	37	3	41	36	5	39	35	4
39	34	5	38	35	3	39	36	3	39	36	3	37	34	3
37	34	3	37	34	3	37	35	2	37	35	2	36	34	2
36	33	3	35	34	1	35	35	0	35	34	1	35	33	2

TEG 16			TEG 17			TEG 18			TEG 19			TEG 20		
Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)
33	32	1	32	32	0	33	32	1	32	31	1	33	31	2
67	48	19	63	42	21	63	43	20	59	41	18	59	40	19
82	58	24	80	49	31	76	48	28	73	44	29	72	43	29
105	74	31	112	61	51	104	61	43	96	55	41	97	54	43
125	90	35	127	72	55	114	70	44	117	60	57	118	60	58
169	92	77	163	103	60	150	99	51	150	92	58	151	95	56
137	92	45	146	80	66	134	73	61	124	64	60	124	65	59
171	116	55	179	86	93	165	88	77	155	77	78	148	80	68
211	125	86	209	92	117	193	93	100	182	82	100	177	92	85
184	103	81	182	110	72	164	104	60	162	95	67	161	98	63
169	118	51	163	103	60	150	99	51	150	92	58	151	95	56
169	92	77	163	103	60	150	99	51	150	92	58	151	95	56
158	80	78	152	93	59	141	83	58	141	78	63	142	82	60
146	76	70	140	87	53	131	102	29	132	80	52	133	76	57
150	93	57	144	85	59	135	77	58	132	74	58	134	76	58
143	90	53	139	80	59	128	76	52	127	79	48	128	72	56
116	79	37	114	67	47	106	65	41	108	64	44	107	59	48
93	65	28	92	61	31	88	58	30	92	58	34	91	54	37
77	57	20	75	52	23	72	60	12	76	50	26	75	47	28
64	50	14	63	47	16	61	45	16	63	45	18	63	42	21
56	46	10	55	43	12	54	41	13	55	41	14	54	39	15
51	43	8	50	40	10	49	39	10	50	38	12	49	37	12
45	39	6	44	37	7	44	36	8	44	35	9	44	35	9
43	38	5	41	37	4	43	36	7	42	35	7	41	35	6
41	36	5	40	36	4	41	35	6	40	35	5	39	35	4
38	36	2	38	36	2	39	35	4	39	35	4	37	34	3
36	35	1	36	35	1	37	34	3	37	34	3	37	34	3
36	35	1	35	34	1	35	34	1	35	33	2	36	33	3

TEG 21			TEG 22			TEG 23			TEG 24			TEG 25		
Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)
33	32	1	32	32	0	33	32	1	32	32	0	32	32	0
60	44	16	59	42	17	60	41	19	62	41	21	62	41	21
74	48	26	71	51	20	80	47	33	75	49	26	75	49	26
100	57	43	98	68	30	108	58	50	102	58	44	102	58	44
123	71	52	116	72	44	126	64	62	130	77	53	138	77	61
157	120	37	157	92	65	167	112	55	166	112	54	166	112	54
130	80	50	125	82	43	140	87	53	141	87	54	141	88	53
156	95	61	164	100	64	158	90	68	164	94	70	164	94	70
187	100	87	195	110	85	193	99	94	198	104	94	198	104	94
168	125	43	169	119	50	175	113	62	176	120	56	176	120	56
157	120	37	157	92	65	167	112	55	166	112	54	166	112	54
157	120	37	157	92	65	167	112	55	166	112	54	166	112	54
145	102	43	146	104	42	150	95	55	156	99	57	156	99	57
136	82	54	135	85	50	146	97	49	145	95	50	145	95	50
136	91	45	137	93	44	147	87	60	144	101	43	144	101	43
132	87	45	131	93	38	138	86	52	139	102	37	139	102	37
102	76	26	111	80	31	114	82	32	116	77	39	116	77	39
93	68	25	94	71	23	93	73	20	102	68	34	102	68	34
77	58	19	78	61	17	78	58	20	80	62	18	80	62	18
65	50	15	64	52	12	63	47	16	66	53	13	66	53	13
56	45	11	56	47	9	56	45	11	57	48	9	57	48	9
51	41	10	51	42	9	51	41	10	52	43	9	52	43	9
44	38	6	45	39	6	45	37	8	46	40	6	46	40	6
43	37	6	43	38	5	43	37	6	44	39	5	44	39	5
40	37	3	41	38	3	42	36	6	41	37	4	41	37	4
39	36	3	38	36	2	40	35	5	39	36	3	39	36	3
37	35	2	37	35	2	38	34	4	37	35	2	37	35	2
37	35	2	36	35	1	37	34	3	36	35	1	36	35	1

TEG 26			TEG 27			TEG 28			TEG 29			TEG 30	
Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc
32	32	0	33	33	0	33	32	1	32	32	0	32	32
66	43	23	62	42	20	70	40	30	71	42	29	69	40
80	53	27	75	50	25	82	47	35	83	50	33	81	46
111	60	51	103	60	43	115	56	59	117	60	57	113	55
122	83	39	125	75	50	141	79	62	134	85	49	129	76
183	122	61	154	106	48	155	102	53	177	110	67	173	106
129	95	34	145	87	58	148	81	67	143	91	52	149	82
176	105	71	162	94	68	170	89	81	181	93	88	178	86
190	118	72	184	110	74	191	99	92	217	105	112	209	95
194	136	58	164	115	49	176	107	69	191	114	77	188	113
183	122	61	154	106	48	155	102	53	177	110	67	193	106
183	122	61	154	106	48	155	102	53	177	110	67	173	106
169	109	60	141	94	47	143	89	54	162	97	65	175	94
157	104	53	131	86	45	133	84	49	152	95	57	148	89
159	95	64	131	87	44	141	89	52	156	92	64	150	83
150	94	56	126	88	38	130	82	48	146	92	54	142	83
124	86	38	108	80	28	108	69	39	119	83	36	117	75
102	75	27	90	71	19	91	62	29	95	75	20	94	66
80	63	17	75	61	14	74	52	22	80	62	18	78	57
66	55	11	62	52	10	62	47	15	66	53	13	65	50
57	48	9	54	46	8	54	43	11	58	48	10	56	45
52	44	8	50	43	7	50	40	10	53	43	10	52	40
46	39	7	44	39	5	44	37	7	46	39	7	45	38
44	38	6	42	38	4	43	37	6	45	38	7	43	38
42	36	6	40	36	4	41	36	5	43	38	5	40	36
40	36	4	39	36	3	39	35	4	40	36	4	39	36
38	35	3	38	35	3	37	35	2	39	35	4	37	36
36	34	2	37	35	2	36	34	2	38	35	3	37	35

TEG 31			TEG 32			TEG 33			TEG 34			TEG 35		
Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)	Th	Tc	$\Delta h$ (°C)
32	32	0	32	32	0	32	32	0	33	32	1	32	32	0
74	38	36	87	45	42	85	42	43	84	40	44	74	48	26
86	43	43	101	58	43	98	49	49	99	44	55	87	58	29
125	55	70	144	55	89	142	61	81	139	55	84	133	74	59
140	76	64	180	88	92	174	73	101	159	71	88	160	90	70
183	93	90	200	121	79	195	100	95	184	100	84	175	92	83
155	80	75	184	90	94	179	84	95	172	72	100	173	92	81
202	84	118	217	110	107	220	91	129	219	97	122	205	116	89
217	92	125	238	120	118	235	100	135	227	110	117	215	125	90
198	98	100	213	125	88	207	108	99	197	113	84	187	103	84
183	93	90	200	121	79	195	100	95	184	100	84	175	92	83
183	93	90	200	121	79	195	100	95	184	100	84	175	92	83
182	85	97	175	105	70	173	89	84	160	87	73	157	80	77
160	84	76	171	98	73	165	85	80	151	82	69	151	76	75
169	76	93	180	94	86	174	84	90	159	71	88	160	93	67
150	76	74	161	97	64	157	81	76	145	79	66	142	90	52
123	68	55	128	84	44	125	71	54	115	69	46	109	79	30
92	62	30	102	71	31	100	63	37	86	62	24	80	65	15
78	53	25	84	59	25	83	53	30	72	52	20	67	57	10
65	47	18	69	51	18	68	47	21	63	46	17	59	50	9
56	43	13	60	46	14	59	43	16	55	42	13	52	46	6
52	40	12	55	43	12	54	40	14	52	40	12	49	43	6
46	37	9	47	39	8	47	38	9	46	37	9	44	39	5
45	36	9	45	38	7	45	38	7	45	37	8	40	38	2
42	36	6	43	37	6	45	38	7	42	37	5	39	36	3
40	35	5	42	37	5	43	37	6	38	36	2	37	36	1
38	34	4	39	35	4	42	37	5	37	35	2	36	36	0
37	34	3	38	35	3	39	36	3	35	35	0	36	35	1

TEG 36			$\Delta V$ (Volt)	$R_s$ ( $\Omega$ )	$R_L$ ( $\Omega$ )
$T_h$	$T_c$	$\Delta h$ ( $^{\circ}C$ )			
32	32	0	0	146,9	298,3
75	42	33	0,5	146,9	298,3
88	49	39	0,63	146,9	298,3
124	61	63	0,89	146,9	298,3
148	71	77	1,98	146,9	298,3
160	103	57	1,62	146,9	298,3
162	85	77	5,33	146,9	298,3
192	86	106	5,44	146,9	298,3
200	92	108	2,36	146,9	298,3
173	110	63	1,92	146,9	298,3
160	103	57	1,62	146,9	298,3
160	103	57	1,62	146,9	298,3
148	93	55	0,97	146,9	298,3
140	87	53	0,73	146,9	298,3
148	85	63	0,89	146,9	298,3
133	80	53	0,61	146,9	298,3
105	67	38	0,3786	146,9	298,3
79	61	18	0,161	146,9	298,3
68	52	16	0,118	146,9	298,3
58	47	11	0,172	146,9	298,3
51	43	8	0,23	146,9	298,3
49	40	9	0,281	146,9	298,3
43	37	6	0,239	146,9	298,3
41	37	4	0,21	146,9	298,3
39	36	3	0,176	146,9	298,3
37	36	1	0,138	146,9	298,3
35	35	0	0	146,9	298,3
35	35	0	0	146,9	298,3







## c. Panas yang diserap (QH)

QH (watt)							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0,9977	0	0	0,9977	0	0	0	0
5,06511	2,99821	3,01736	4,00195	0,10369	1,07062	0,71294	0,24078
11,0498	8,99827	9,01854	9,99971	0,56347	2,14015	1,70945	0,81151
15,0121	12,999	14,9985	3,14641	3,55276	2,18936	1,69166	1,8085
26,0274	15,0158	15,0448	16,0158	1,51696	2,17382	3,77149	1,37438
28,985	20,0143	21,0098	21,0022	1,82373	2,67325	4,01505	1,6308
43,9635	24,9919	27,0007	25,9793	1,26132	6,48448	2,71823	1,93134
33,9404	19,012	21,9814	21,9882	1,69175	4,03783	3,08208	1,66635
20,9662	17,0078	17,9838	16,9968	3,3287	2,08856	2,29457	1,43687
25,9729	18,9855	19,985	18,982	1,52762	2,30966	2,38985	1,23916
19,9685	15,9938	17,978	15,9933	1,38406	2,66643	2,26519	1,21123
16,9844	15,0024	15,9903	16,9859	1,21783	1,45536	3,52309	1,15812
19,982	15,9885	16,9865	18,9721	0,4985	4,62605	1,8156	0,98401
14,9748	13,9855	14,9771	16,9706	0,87641	1,82503	1,02959	1,4284
3,99249	10,9833	11,9747	12,976	0,85944	0,46803	1,49048	0,64291
9,00921	7,98825	8,99183	8,9842	0,65027	0,30247	1,16644	0,64367
6,98712	5,99241	7,98507	6,98769	0,57637	0,32086	0,80532	0,50513
5,98851	5,98934	5,98877	5,98864	0,49718	0,23606	0,59627	0,32755
4,99012	3,99371	4,99039	4,99031	0,36443	0,25427	0,30449	0,24458
4,98991	3,99257	3,99252	3,99224	0,3027	0,14707	0,40318	0,24248
3,99157	2,9947	1,99722	2,99454	0,26923	0,10296	0,40326	0,20223
2,99383	1,00159	0	1,99666	0,28033	0,12605	0,188	0,28033
1,99577	1,99624	0,99879	0,99897	0,37258	0	0	1,99626
0,99795	0	0	0,9977	0,1925	0	0	0
0,9977	0,9977	0	0,9977	0	0	0	0

















## c. Panas Yang Diserap (QH)

WAKTU (MENIT)	TEMPERATUR TUNGKU (°C)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )
0	32	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,000	0,998	0,000	0,000	0,000	0,000
5	95	11,974	3,997	3,997	7,985	10,977	13,970	7,985	10,977	10,977	8,980	17,959
10	100	18,959	12,974	12,974	23,948	26,940	25,943	16,965	20,955	21,952	18,957	32,927
15	209	31,930	15,972	15,972	31,932	34,924	39,912	29,936	30,934	31,931	27,937	48,896
20	370	28,956	15,018	19,995	19,999	26,969	41,925	32,954	44,919	37,936	41,917	54,956
25	505	15,019	28,963	22,985	47,911	56,886	66,862	42,924	59,878	61,873	53,887	67,866
30	582	32,100	26,195	33,191	43,090	50,042	51,043	35,135	44,071	49,042	43,980	64,418
35	562	53,032	30,197	40,134	42,320	67,002	71,988	47,107	59,037	65,008	60,937	90,786
40	336	41,947	44,939	42,945	84,834	89,819	98,798	69,873	81,841	89,819	85,817	116,793
45	332	39,941	39,941	33,961	47,923	72,853	76,855	43,933	65,871	66,867	59,877	76,864
50	495	29,955	18,993	45,913	50,903	71,848	78,832	49,904	59,878	71,848	63,862	82,875
55	505	26,967	32,951	25,975	47,911	56,886	66,862	42,924	59,878	61,873	53,887	67,866
60	342	23,956	27,946	34,928	46,899	64,856	69,844	40,913	55,877	65,853	57,870	69,855
65	405	28,938	29,936	31,931	44,901	47,893	59,865	38,915	55,874	70,839	59,865	59,871
70	372	53,880	38,917	51,885	60,864	64,855	38,917	47,895	60,864	60,864	57,870	62,869
75	295	46,894	32,927	34,923	65,850	59,864	50,885	45,897	53,878	59,864	49,886	65,853
80	84	43,900	44,897	47,890	46,893	49,886	23,946	38,911	44,897	54,874	40,906	47,891
85	68	31,927	20,952	20,952	38,910	30,929	21,950	26,938	27,936	39,908	26,938	35,917
90	58	16,961	15,963	15,963	29,931	26,938	26,938	19,954	18,956	26,938	16,961	24,943
95	53	17,959	11,973	11,973	19,954	23,945	20,952	16,961	14,966	17,959	11,973	17,959
100	49	13,968	8,980	8,980	16,961	14,966	13,968	10,975	10,975	12,971	7,982	13,968
105	46	10,975	6,985	6,985	13,968	11,973	11,973	7,983	7,983	9,978	6,985	9,977
110	44	5,987	5,987	6,985	8,980	8,980	6,985	5,987	4,990	6,985	4,989	6,984
115	42	3,992	2,995	3,992	7,982	7,982	5,987	5,987	3,992	6,985	3,991	5,986
120	40	1,997	2,994	4,989	8,980	5,987	5,987	3,991	2,994	4,989	3,991	3,991
125	40	0,999	2,994	2,994	5,986	3,991	4,989	2,994	0,999	2,994	3,991	4,989
130	38	0,000	1,995	1,995	4,989	1,995	3,991	1,995	1,995	0,998	3,991	2,993
135	35	0,000	0,998	0,998	1,995	1,995	2,993	0,998	0,998	0,000	1,995	2,993

TEMPERATUR CEROBONG BAWAH												
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )	QH ( watt )
0,000	0,998	0,000	0,000	0,998	0,000	0,998	0,998	1,995	0,998	0,000	0,998	0,000
17,960	12,973	18,958	17,960	18,958	20,953	19,956	17,960	18,958	15,965	16,963	18,958	20,953
31,928	17,962	28,936	35,919	23,948	30,931	27,938	28,936	28,936	25,943	19,957	32,926	25,943
43,903	33,927	47,894	50,886	30,935	50,887	42,905	40,910	42,905	42,905	29,937	49,889	43,903
52,897	35,947	54,893	51,901	34,951	54,894	43,922	56,887	57,885	51,901	43,922	61,875	52,900
77,834	40,929	73,844	58,880	76,836	59,878	50,900	57,882	55,887	36,940	64,865	54,891	53,894
61,990	43,098	71,963	57,013	45,091	65,989	61,000	59,994	58,998	50,051	43,087	53,047	54,042
74,973	54,078	85,939	65,016	55,080	92,914	76,965	77,953	67,988	61,030	64,023	67,998	69,995
112,763	83,837	116,754	89,821	85,833	116,753	99,794	99,793	84,831	86,827	84,833	93,809	93,810
88,813	42,935	81,831	60,883	80,833	71,855	59,885	66,866	62,876	42,933	49,913	61,881	55,897
80,826	46,912	73,844	73,844	50,902	59,878	50,900	57,882	55,887	36,940	64,865	54,891	53,894
77,834	40,929	73,844	58,880	76,836	59,878	50,900	57,882	55,887	36,940	64,865	54,891	53,894
75,830	47,896	74,832	60,865	77,825	58,870	57,872	62,860	59,867	42,908	41,911	54,879	56,875
57,870	39,912	73,832	48,891	69,841	52,881	28,939	51,883	56,872	53,879	49,888	48,891	49,888
63,857	56,874	53,880	77,824	56,874	58,869	57,871	57,871	57,871	44,902	43,904	59,866	42,907
69,841	41,906	67,845	56,871	52,880	58,866	51,882	47,892	55,873	44,899	37,915	51,883	36,918
53,877	30,930	47,890	40,907	36,916	46,893	40,907	43,900	47,890	25,941	30,930	31,928	38,911
36,915	21,950	32,924	25,940	27,936	30,929	29,931	33,922	36,915	24,943	22,947	19,954	33,922
26,938	16,961	24,943	19,954	19,954	22,947	11,973	25,940	27,936	18,956	16,961	19,954	17,959
18,957	12,970	17,959	13,968	13,968	15,963	15,963	17,959	20,952	14,966	11,973	15,963	12,970
13,968	9,978	12,971	10,975	9,978	11,973	12,971	13,968	14,966	10,975	8,980	10,975	8,980
10,976	7,983	10,976	7,983	7,983	9,978	9,978	11,973	11,973	9,978	8,980	9,978	8,980
7,982	4,990	5,987	5,987	5,987	6,985	7,982	8,980	8,980	5,987	5,987	7,982	5,987
6,985	3,992	5,987	4,989	4,989	3,992	6,985	6,984	5,987	5,987	4,989	5,987	4,989
4,989	2,994	4,989	3,991	4,989	3,991	5,987	4,989	3,991	2,994	2,994	5,987	3,992
2,994	2,994	2,994	2,994	1,996	1,996	3,991	3,991	2,994	2,994	1,996	4,989	2,994
2,993	1,995	1,995	1,995	0,998	0,998	2,993	2,993	2,993	1,995	1,995	3,991	1,995
0,998	0,000	0,998	1,995	0,998	0,998	0,998	1,995	2,993	1,995	0,998	2,993	0,998

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt	QH ( watt )
0,000	0,000	0,000	0,998	0,000	0,000	0,000	0,000	31,926	0,998	0,000	0,000
20,953	22,949	19,955	29,932	28,935	28,935	35,918	43,402	2,994	43,900	25,942	32,925
25,943	26,941	24,944	34,922	32,926	34,922	42,903	48,889	14,967	54,875	28,936	38,912
43,903	50,887	42,903	58,868	56,873	57,870	69,841	80,914	-33,921	83,810	58,868	62,859
60,880	38,938	49,899	61,877	48,911	52,900	63,862	101,747	-3,983	87,814	69,859	76,840
53,894	60,877	47,905	52,895	66,861	66,861	89,809	104,872	41,911	83,820	82,822	56,885
53,048	34,164	57,986	66,987	52,056	66,988	74,911	137,729	-3,930	99,880	80,950	76,957
69,995	71,001	67,955	80,953	87,934	91,917	117,867	130,057	3,050	121,839	88,948	105,877
93,810	71,867	73,850	91,814	111,767	113,761	124,737	135,008	2,007	116,755	89,823	107,775
55,897	57,894	48,901	68,862	76,843	74,848	99,791	136,481	36,925	83,826	83,825	62,878
53,894	60,877	47,905	52,895	66,861	86,813	89,809	104,872	41,911	83,820	82,822	56,885
53,894	60,877	47,905	52,895	66,861	66,861	89,809	104,872	41,911	83,820	82,822	56,885
56,875	59,868	46,897	53,881	64,856	80,818	96,785	83,985	34,922	72,837	76,827	54,879
49,888	52,882	44,899	48,891	56,872	58,867	75,828	80,041	24,944	68,844	74,830	52,881
42,907	63,857	43,903	51,885	63,857	66,850	92,790	89,885	7,983	87,801	66,850	62,859
36,918	55,873	37,914	47,892	53,878	58,866	73,832	77,925	32,925	65,850	51,883	52,880
38,911	37,914	27,936	38,911	35,918	41,904	54,875	53,886	39,909	45,895	29,932	37,913
33,922	26,938	18,956	28,933	19,954	27,936	29,931	36,915	39,908	23,945	14,966	17,959
17,959	16,961	13,968	21,950	17,959	20,952	24,943	29,931	33,922	19,954	9,977	15,963
12,970	10,975	9,977	14,966	12,970	14,966	17,959	20,952	32,924	16,961	8,980	10,975
8,980	8,980	7,982	10,975	9,978	10,975	12,971	15,963	31,927	12,971	5,987	7,982
8,980	7,983	6,985	9,978	9,978	11,973	11,973	13,968	30,929	11,973	5,988	8,980
5,987	6,985	4,989	6,985	6,985	6,985	8,980	8,979	30,929	8,980	4,990	5,987
4,989	5,987	3,991	5,987	6,985	4,989	8,980	6,984	30,929	7,982	1,997	3,992
3,992	5,987	3,991	4,989	4,989	3,991	5,987	6,984	30,929	4,989	2,994	2,994
2,994	3,991	2,993	3,991	3,991	2,994	4,989	5,986	31,927	1,996	0,999	0,999
1,995	2,993	2,993	1,995	3,991	0,998	3,991	4,989	30,929	1,995	0,000	0,000
0,998	1,995	1,995	1,995	2,993	1,995	2,993	2,993	31,926	0,000	0,998	0,000









## LAMPIRAN 3 TABEL KONDUKTIVITAS THERMAL

**TABLE 1-1**

The thermal conductivities of some materials at room temperature

Material	k, W/m · °C*
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminum	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.613
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

\*Multiply by 0.5778 to convert to Btu/h · ft · °F.

**LAMPIRAN 4 GAMBAR PROSES PERANCANGAN ALAT**



**GAMBAR 1. PROSES PEMTONGAN PLAT ALUMINIUM**



**GAMBAR 2. PROSES PEMOTONGAN ALUMINIUM SIKU L**



GAMBAR 3. PROSES PEMASANGAN KIPAS KE SIKU L



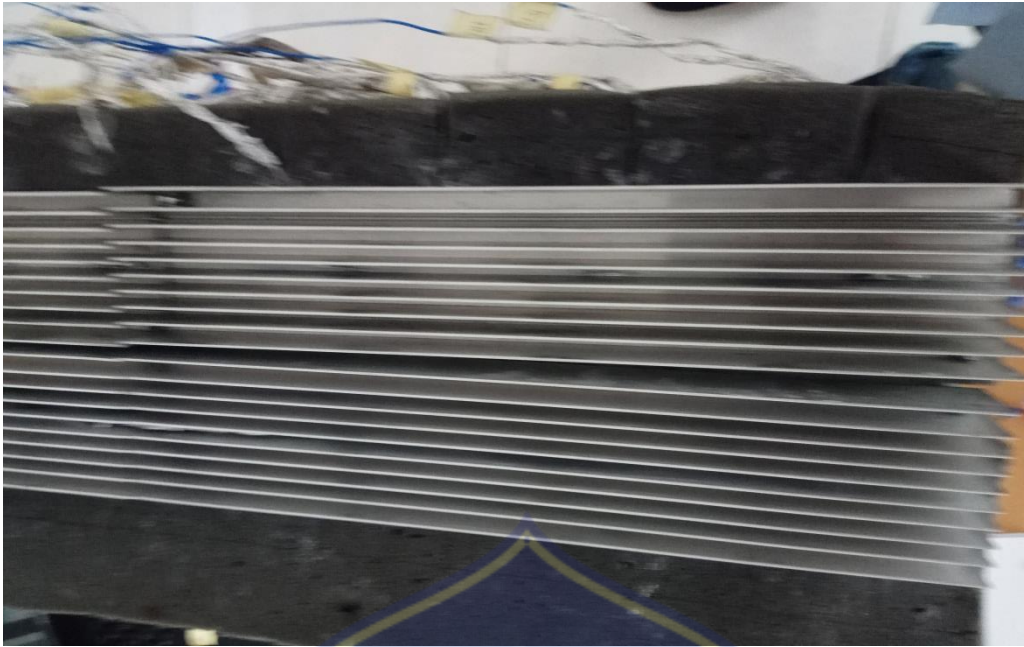
GAMBAR 4. PROSES PENCETAKAN ISOLATOR



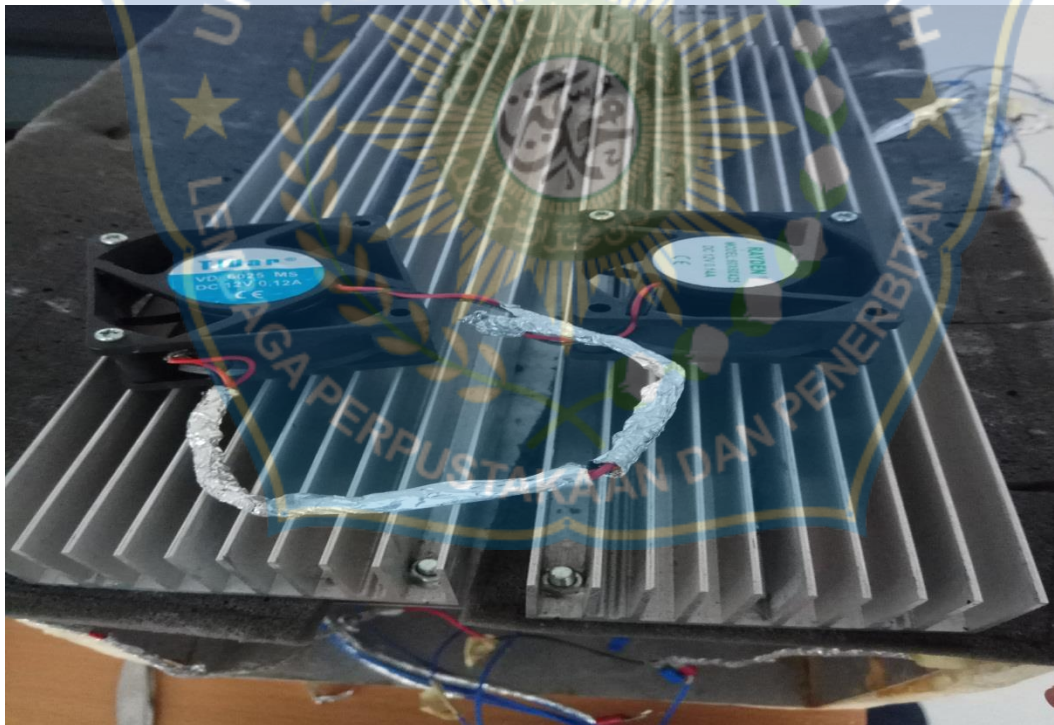
GAMBAR 5. HASIL CETAKAN ISOLATOR



GAMBAR 6. PROSES PEMASANGAN MODUL



**GAMBAR 7. PROSES PEMASANGAN HEATSINK**



**GAMBAR 8. PROSES PEMASANGAN KIPAS**

**LAMPIRAN 5 GAMBAR PROSES PENGAMBILAN DATA**

GAMBAR 9. PEMASANGAN DUDUKAN TEG PADA CEROBONG ATAS



GAMBAR 10. PEMASANGAN DUDUKAN TEG PADA CEROBONG BAWAH



GAMBAR 11. PROSES PENGECEKAN KABEL



GAMBAR 12. PENGESETAN DISPLAY PENCATAT TEMPERATUR

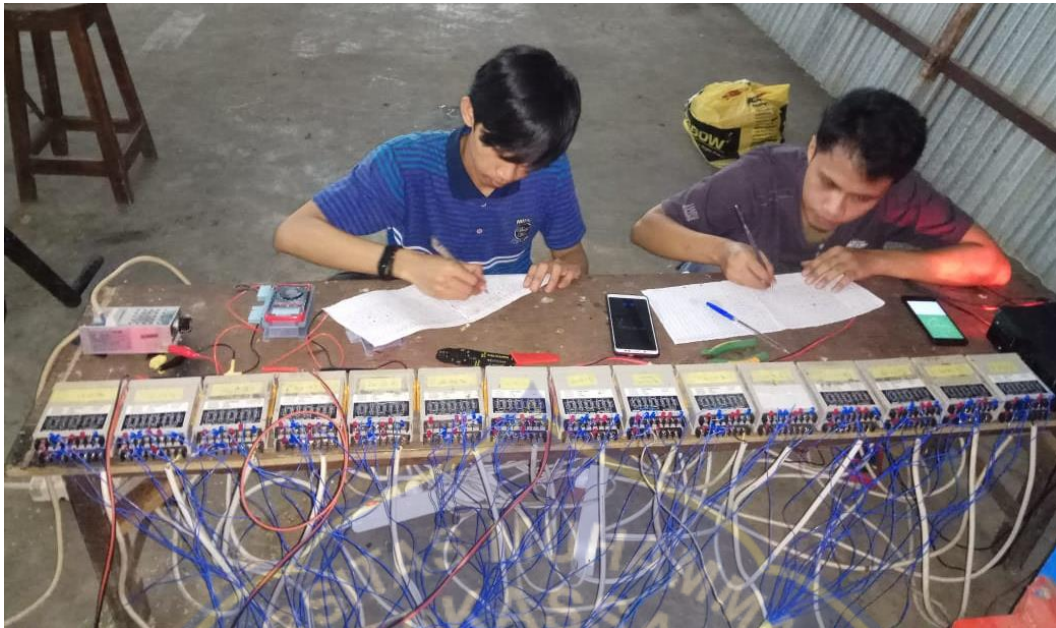


GAMBAR 13. PROSES PEMBAKARAN

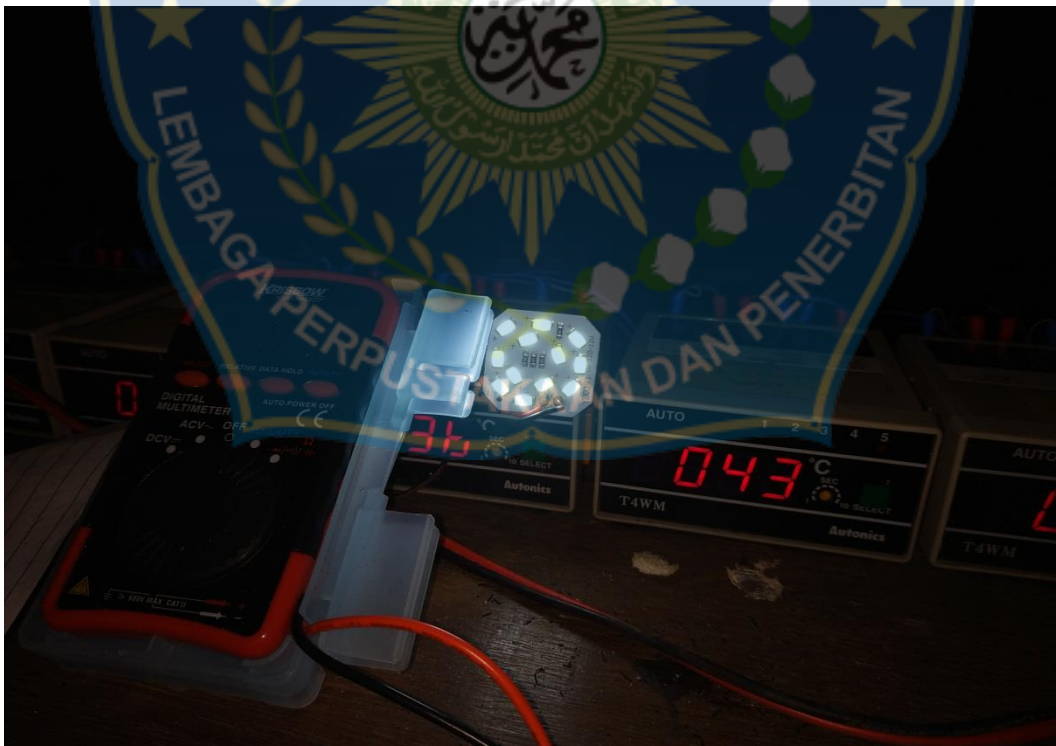


GAMBAR 14. PROSES PENGABILAN DATA





GAMBAR 15. PROSES PENGAMBILAN DATA



GAMBAR 14. LAMPU LED