

**EVALUASI UNJUK KERJA TERMOLEKTRIK GENERATOR
PADA MESIN PENGERINGAN RAK TELUR SEBAGAI
PEMBANGKIT LISTRIK**

*PERFORMANCE EVALUATION OF THERMOLEKTRIC
GENERATOR ON EGG DRYING MACHINE AS POWER PLANT*

SUDARMANTO JAYANEGARA



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

**EVALUASI UNJUK KERJA TERMOELEKTRIK
GENERATOR PADA MESIN PENGERINGAN RAK TELUR
SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK**



Disusun Oleh :

**SUDARMANTO JAYANEGARA
D022172003**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

**EVALUASI UNJUK KERJA TERMOELEKTRIK
GENERATOR PADA MESIN PENGERINGAN RAK TELUR
SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin / Konversi Energi

Disusun dan diajukan oleh

SUDARMANTO JAYANEGARA

Kepada

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

TESIS

EVALUASI UNJUK KERJA TERMOELEKTRIK GENERATOR PADA MESIN PENGERINGAN RAK TELUR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK

Disusun dan diajukan oleh

SUDARMANTO JAYANEGARA

Nomor Pokok D022172003

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 14 Agustus 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasihat,

Prof. Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME

Ketua

Dr. Ir. Zurvati Djafar, MT

Anggota

Ketua Program Studi Magister
Teknik Mesin

Dr. Haqirul Arsyad, ST., MT

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad, MT

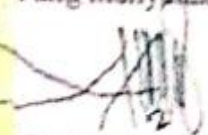
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SUDARMANTO JAYANEGARA
Nomor mahasiswa : D922172003
Program studi : Teknik Mesin / Konversi Energi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 28 September 2020

METERAI
TEMPEL
KORCEANF435051500
6000
Yang menyatakan

Sudarmanto Javanegara

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul **“Evaluasi unjuk kerja termoelektrik generator pada mesin pengeringan rak telur sebagai pembangkit listrik”**.

Penyusunan tesis ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Magister pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, berbagai pihak telah banyak memberikan dorongan, bantuan serta masukan sehingga dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada kedua orang tua ayahanda H.Drs. Mukhtar Musarijaya dan Ibunda tercinta Hj. Asmirati S,pdi, serta saudara tercinta.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu. MA Selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Dr. Ing. Wahyu H. Piarah, MSME selaku Pemimbing Satu dan Ibu Dr. Ir. Zuryati Djafar. MT selaku Pembimbing Dua atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian sampai dengan penyusunan tesis ini.
3. Dr. Eng. Erwin Eka Putra, ST. MT, Dr.Eng. Jalaluddin., ST., MT, Azwar Hayat, ST.,M.Sc, Ph.D selaku Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan tesis ini.
4. Seluruh staf pengajar / dosen pada program studi Teknik Mesin, konsentrasi Konversi Energi, Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, atas bimbingan dan didikannya selama penulis kuliah.
5. Bapak Direktur beserta Staf Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya.
6. Kepada seluruh teman-teman Pascasarjana Teknik Mesin Unhas khususnya

angkatan 2017 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tesis ini.

7. Serta semua pihak yang telah membantu penulis, namun tidak sempat disebutkan satu per satu pada kesempatan ini.

Penulis menyadari bahwa naskah tesis ini masih banyak kekurangan oleh karena itu segala kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan tesis ini. Akhirnya semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan energi terbarukan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Makassar, 11 September 2020

Penulis

ABSTRAK

SUDARMANTO JAYANEGARA. Evaluasi Unjuk Kerja Termoelektrik Generator Pada Mesin Pengering Rak Telur Sebagai Pembangkit Listrik (mentored by Wahyu Haryadi Piarah and Zuryati Djafar).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakter dari modul TEG sebagai sumber energi listrik dalam memanfaatkan panas pada dinding cerobong suatu mesin pengering rak telur yang menggunakan sekam padi sebagai bahan bakar. Pengujian dilakukan dengan cara memanfaatkan panas pada 2 buah cerobong (cerobong atas dan cerobong bawah) yang terpisah oleh sebuah Heat Exchanger (HE) dengan kecepatan blower tungku pembakaran 2600 rpm dan kecepatan blower lingkungan 2800 rpm dengan jumlah termoelektrik yang digunakan sebanyak 176 buah. Hasil menunjukkan bahwa dengan Modul Tunggal (8 modul TEG pada cerobong atas dan 36 modul TEG cerobong bawah), Modul Ganda (16 modul TEG pada cerobong atas dan 72 modul TEG cerobong bawah) Modul Tripel (24 modul TEG pada cerobong atas dan 108 modul TEG cerobong bawah) dan Modul Quad (32 modul TEG pada cerobong atas dan 144 modul TEG cerobong bawah) yang disusun secara seri dapat menghasilkan tegangan keluaran dengan perbedaan temperatur maksimum masing-masing ΔV 3.68 Volt ; ΔT 38.75 °C (CA), dan ΔV 12.26 Volt ; ΔT 73.25°C (CB) untuk modul tunggal, ΔV 7.87 Volt ; ΔT 45.13 °C (CA), dan ΔV 20.24 Volt ; ΔT 75.78 °C (CB) untuk modul ganda, ΔV 9.56 Volt ; ΔT 45.75 °C (CA), dan ΔV 23.22 Volt ; ΔT 81.69 °C (CB) untuk modul tripel dan ΔV 11.89 Volt ; ΔT 53.50 °C (CA), dan ΔV 25.56 Volt ; ΔT 92.69 °C (CB) untuk modul quad. Daya yang dapat dihasilkan adalah 0.18 Watt.m² (CA), 2.45 Watt.m² (CB) untuk modul tunggal, 0.79 Watt.m² (CA), 5.96 Watt.m² (CB) untuk modul ganda, 1.07 Watt.m² (CA), 5.56 Watt.m² (CB) untuk modul tripel dan 1.56 Watt.m² (CA), 5.37 Watt.m² (CB) untuk modul quad. Penelitian ini sangat baik dan efektif sebagai prospek kedepan untuk membantu penghematan dan penggunaan energi listrik kedepannya.

Kata kunci: karakterisasi, TEG, perbedaan temperatur, perbedaan tegangan, pengering rak telur

ABSTRACT

SUDARMANTO JAYANEGARA. Performance Evaluation of Thermoelectric Generator On Egg Drying Machine As Power Plant (mentored by Wahyu Haryadi Piarah and Zuryati Djafar).

This research was conducted to determine the character of the TEG module as a source of electrical energy in utilizing heat in the chimney wall of an egg rack drying machine that uses rice husk as burning material. The test is carried out by utilizing heat on 2 pieces of chimney (upper chimney and lower chimney) separated by a Heat Exchanger (HE) with a furnace blower speed of 2600 rpm and environmental blower speed of 2800 rpm with the amount of thermoelectric used as many as 176 units. The result of the research shows that with a Single Module (8 TEG modules in the upper chimney and 36 TEG modules in the lower chimney), Dual Modules (16 TEG modules in the upper chimney and 72 TEG modules in the lower chimney), Triple Modules (24 TEG modules in the upper chimney and 108 modules in the lower chimney) and Quad Modules (32 TEG modules in the upper chimney and 144 modules lower chimney) arranged in series can produce an output voltage with a maximum temperature difference of ΔV 3.68 Volt; ΔT 38.75 °C (CA), and ΔV 12.26 Volt; ΔT 73.25 °C (CB) for a single module, ΔV 7.87 Volt; ΔT 45.13 °C (CA), and ΔV 20.24 Volt; ΔT 75.78 °C (CB) for dual modules, ΔV 9.56 Volt; ΔT 45.75 °C (CA), and ΔV 23.22 Volt; ΔT 81.69 °C (CB) for triple modules and ΔV 11.89 Volt; ΔT 53.50 °C (CA), and ΔV 25.56 Volts; ΔT 92.69 °C (CB) for quad modules. The power that can be produced is 0.18 Watt.m² (CA), 2.45 Watt.m² (CB) for single modules, 0.79 Watt.m² (CA), 5.96 Watt.m² (CB) for dual modules, 1.07 Watt.m²(CA), 5.56 Watt.m² (CB) for triple modules and 1.56 Watt.m² (CA), 5.37 Watt.m² (CB) for quad modules. This research is very good and effective as a future prospect to help in saving and using electricity in the future.

Keywords: characterization, TEG, temperature difference, voltage difference, egg rack dryer

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
ABSTRAK.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SIMBOL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Sejarah Termoelektrik.....	5
2.3 Efek Termoelektrik.....	7
2.4 Parameter Penggunaan Termoelektrik	10
2.5 Efisiensi Termoelektrik.....	11
2.6 Elemen Termoelektrik.....	12
2.7 Perhitungan Termoelektrik.....	14
2.8 Rak Telur.....	15
2.9 Metode Pengeringan.....	15
2.10 Bahan Bakar Biomassa	17
2.11 Sekam Padi	18
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan tempat Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan yang digunakan	21

3.3 Instalasi TEG pada dudukan	25
3.4 Metode pengujian	26
3.5 Skema rancangan instalasi pengujian	27
3.6 Metode pengumpulan data	31
3.7 Diagram alir penelitian	33
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa data dan perhitungan	34
4.2 Pembahasan.....	37
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	59
B. Saran	61
 DAFTAR PUSTAKA	 62
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Asumsi nilai kalor dari beberapa sumber bahan baku	18

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema ilustrasi efek seebeck	8
Gambar 2.2 Skea ilustrasi efek peltier	9
Gambar 2.3 Skema ilustrasi efek thomson	10
Gamabr 2.4 Nilai <i>Figure of Merit</i> dari bahan semikonduktor	13
Gambar 2.5 Rak telur	15
Gambar 2.6 Pengering rak telur dengan ban berjalan	17
Gambar 2.7 Sampel Sekam padi	19
Gambar 3.1 Mesin pengering rak telur.....	21
Gambar 3.2 Timbangan digital.....	22
Gambar 3.3 Display dan termokopel.....	22
Gambar 3.4 Multimeter digital	22
Gambar 3.5 Rangkaian lampu led dan resistor.....	23
Gambar 3.6 Power supply	23
Gambar 3.7 Dudukan TEG.....	23
Gambar 3.8 Heatsink	24
Gambar 3.9 Kipas (FAN)	24
Gambar 3.10 Thermal pasta	24
Gambar 3.11 Fom A dan Fom B	24
Gambar 3.12 Pemasangan Teg pada dudukan.....	25
Gambar 3.13 Pemasangan matras dan hetasink pada dudukan TEG	25
Gambar 3.14 Pemasangan dudukan pada TEG	25
Gambar 3.15 Pemasangan termokopel dihubungkan ke display	26
Gambar 3.16 Pemasangan TEG dihubungkan ke multimeter	26
Gambar 3.17 Rancangan instalasi pengujian	27
Gambar 3.18 Rangkaian modul tunggal cerobong atas dan bawah.....	27
Gambar 3.19 Rangkaian modul ganda cerobong atas dan bawah.....	28
Gambar 3.20 Rangkaian modul tripel cerobong atas dan bawah	29
Gambar 3.21 Rangkaian modul quad cerobong atas dan bawah.....	30
Gambar 3.22 Skema Titik Pebgukuran	31

Gambar 3.23	Diagram alir penelitian	33
Gambar 4.1	Sejarah temperatur ruang bakar (TRBavg) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul tunggal	37
Gambar 4.2	Sejarah temperatur sisi panas dan sisi dingin rerata pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul tunggal	38
Gambar 4.3	Beda temperatur rerata (ΔT_{avg}) dan tegangan (V) pada cerobong atas dan bawah modul tunggal	39
Gambar 4.4	Panas yang diserap (QH) pada cerobong atas dan cerobong bawah modul tunggal	39
Gambar 4.5	Daya listrik (P) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul tunggal	40
Gambar 4.6	Efisiensi (η) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul tunggal	41
Gambar 4.7	Sejarah temperatur ruang bakar (TRBavg) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul ganda	42
Gambar 4.8	Sejarah temperatur sisi panas dan sisi dingin rerata pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul ganda	42
Gambar 4.9	Beda temperatur rerata (ΔT_{avg}) dan tegangan (V) pada cerobong atas dan bawah modul ganda	43
Gambar 4.10	Panas yang diserap (QH) pada cerobong atas dan cerobong bawah modul ganda	44
Gambar 4.11	Daya listrik (P) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul ganda	44
Gambar 4.12	Efisiensi (η) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul ganda	45
Gambar 4.13	Sejarah temperatur ruang bakar (TRBavg) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul triple	46
Gambar 4.14	Sejarah temperatur sisi panas dan sisi dingin rerata pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul triple	46
Gambar 4.15	Beda temperatur rerata (ΔT_{avg}) dan tegangan (V) pada cerobong atas dan bawah modul triple	47

Gambar 4.16	Panas yang diserap (QH) pada cerobong atas dan cerobong bawah modul tripel	48
Gambar 4.17	Daya listrik (P) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul tripel	48
Gambar 4.18	Efisiensi (η) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul tripel	49
Gambar 4.19	Sejarah temperatur ruang bakar (TRBavg) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul quad	50
Gambar 4.20	Sejarah temperatur sisi panas dan sisi dingin rerata pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul quad	50
Gambar 4.21	Beda temperatur rerata (ΔT_{avg}) dan tegangan (ΔV) pada cerobong atas dan bawah modul quad	51
Gambar 4.22	Panas yang diserap (QH) pada cerobong atas dan cerobong bawah modul quad	52
Gambar 4.23	Daya listrik (P) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul quad	52
Gambar 4.24	Efisiensi (η) pada cerobong atas (CA) dan cerobong bawah (CB) modul quad	53
Gambar 4.25	Perbandingan Temperatur ruang bakar (TRB) pada 4 variasi modul terhadap cerobong atas dan cerobong bawah	54
Gambar 4.26	Perbandingan temperatur sisi panas dan sisi dingin rerata (T_A avg) maximum pada 4 variasi terhadap cerobong atas dan cerobong bawah	55
Gambar 4.27	Perbandingan beda temperatur maximum (ΔT max) pada 4 variasi modul terhadap cerobong atas dan cerobong bawah	55
Gambar 4.28	Perbandingan tegangan maximum (ΔV_{max}) pada 4 variasi modul terhadap cerobong atas dan cerobong bawah	56
Gambar 4.29	Perbandingan panas yang diserap maximum (Q_{hmax}) pada 4 variasi modul terhadap cerobong atas dan cerobong bawah	57
Gambar 4.30	Perbandingan daya listrik maximum (P_{tmax}) pada 4 variasi modul terhadap cerobong atas dan cerobong bawah	57

Gambar 4.31 Perbandingan efisiensi maximum (η_{max}) pada 4 variasi modul terhadap cerobong atas dan cerobong bawah58

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
A	Luas penampang	m ²
L	Lebar	m
P	Panjang	m
α	Koefisien Seebeck	V/°C
ΔV	Perbedaan tegangan	V
ΔT	Perbedaan temperatur	°C
T _h	Temperatur sisi panas modul	°C
T _c	Temperatur sisi dingin modul	°C
I	Arus listrik	A
R _I	Beban internal modul	Ω
R _L	Beban eksternal modul	Ω
T _a	Temperatur lingkungan	°C
Q _h	Laju perpindahan panas	W
k	konduktifitas termal bahan	W/m.°C
P	Daya yang dihasilkan	W
P _t	Daya total	W.m ²
η	Efisiensi	%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi Listrik bagi manusia di zaman modern saat ini merupakan kebutuhan yang tidak bisa tergantikan. Setiap aktifitas yang dilakukan tidak terlepas dari peran-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 [1]. Namun disisi lain, energi fosil merupakan energi yang tak terbarukan yang sifatnya akan habis. Khusus untuk cadangan batubara di Indonesia diperkirakan akan habis pada tahun 2096 akan datang [2].

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 alam dan minyak bumi menjadi tumpuan PLN dalam memproduksi listrik. Ketiganya menyumbang hampir 80% dari total listrik yang dibangkitkan. Sisanya disumbang oleh pembangkit terbarukan [3]

Terdapat beberapa sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik diantaranya : Pertama, pembangkit listrik dengan kapasitas makro yang biasanya memanfaatkan air, uap, gas, nuklir, dan lain-lain. Kedua, pembangkit listrik dengan kapasitas mikro yang salah satunya memanfaatkan energi panas [4]. Energi panas tersebut antara lain berasal dari sinar matahari dan benda-benda yang melepaskan panas, seperti setrika, knalpot kendaraan bermotor, kompor pemanas, mesin pengeringan

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

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 serta konservasi energi [5]. Melalui regulasi resmi tersebut masyarakat secara luas bisa memanfaatkannya dalam rangka menjamin ketersediaan energi listrik.

Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa dikembangkan adalah gas buang dari mesin pengering rak telur. Mesin pengeringan rak telur tersebut selain bisa dimanfaatkan sebagai pengering juga bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dengan cara mengkonversi energi panas yang terbuang menjadi energi listrik dengan menggunakan teori termoelektrik 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 [6-9]. Konsep ini apabila diterapkan pada mesin pengering rak telur dengan temperatur ruang pembakaran berkisar antara 200-750 °C dan interval panas pada cerobong berkisar antara 170-300° C, akan menghasilkan

gaya gerak listrik yang kemudian dapat digunakan untuk pengoperasian alat elektronik atau disimpan dalam baterai [10].

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul “ *Evaluasi Unjuk Kerja TEG Pada Mesin Pengeringan Rak Telur Sebagai Pembangkit Listrik* “

1.2 Rumusan masalah

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

1. Bagaimana karakteristik temperatur yang ada pada cerobong mesin pengering rak telur?
2. Berapa besar energi panas pada cerobong mesin pengering rak telur yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik?
3. Bagaimana susunan modul termoelektrik yang memberikan kinerja optimal pada cerobong mesin pengering rak telur?

1.3 Tujuan penelitian

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

1. Menentukan karakteristik temperatur 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. Menganalisis susunan modul termoelektrik yang memberikan kinerja optimal pada cerobong mesin pengering rak telur.

1.4 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 mesin pengering rak telur yang digunakan untuk membakar sampah sekam padi.
2. Konverter dari energi panas ke energi listrik menggunakan generator termoelektrik.
3. Tidak membahas rancang bangun mesin pengering rak telur dan efisiensi pengeringan.
4. Mesin pengeringan yang digunakan adalah mesin yang berada pada PT. Rak Telur Nusantara.

1.5 Manfaat penelitian

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

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sejauh ini, baik penelitian ekperimental dan komputasi terkait model pemasangan termoelektrik mengklaim bahwa 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 bohlam dan pelat pengumpul. Modul TE yang diuji adalah modul tunggal dan ganda, di mana 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 thermoelectrik generator (TEG). Penggunaan pipa panas menghasilkan daya yang jauh lebih besar 4-6 kali pada TE Modul tunggal (0,84 mW) daripada tanpa pipa panas (0,14 mW), dan modul TE ganda yang menggunakan pipa panas akan menjadi 4 kali lebih besar (1,48 mW) dari tanpa pipa panas (0.37mW) [11].

Amrullah dkk (2014), meneliti tentang kinerja modul termoelektrik pendingin pada dispenser air minum dengan memanfaatkan tegangan listrik DC. Model termoelektrik yang akan diuji adalah modul ganda yang dirangkai secara seri dan paralel dengan meninjau temperatur air yang didinginkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul terbaik dari segi temperatur air, kecepatan

pendinginan dan penghematan energi listrik adalah termoelektrik ganda yang dirangkai secara seri pada tegangan 10 V. Hal ini dapat dilihat setelah 360 menit dengan temperatur air yang didinginkan 12°C, beda temperatur 28°C, kalor yang diserap 19.52810 W ,dan COP 1.25268 [12].

Risha Mal dkk (2015), meneliti tentang pemanfaatan panas buang pada kompor biomassa dengan menggunakan termoelektrik generator (TEG) yang menghasilkan daya sebesar 5 W yang selanjutnya disimpan ke dalam baterai Li-ion dan digunakan lebih lanjut untuk menjalankan kipas angin DC 12 Volt, menyalakan lampu LED dan mengisi daya ponsel [13].

Yousef S.H Najjar dkk (2017), dalam penelitiannya melakukan percobaan pada tungku yang dirancang khusus menggunakan tiga jenis bahan bakar padat berupa kayu, gambut dan pupuk kandang. Termoelektrik generator (TEG) dan pelat cooker dilengkapi dengan sirip yang dirancang khusus untuk meningkatkan perpindahan panas dan menjaga kompor ukuran kecil. Hasil daya maksimum yang diperoleh dari TEG adalah sekitar 5,7 Watt, 6,6 Watt dan 1,8 Watt masing-masing untuk kayu, gambut dan pupuk kandang. Efisiensi keseluruhan maksimum adalah 65% saat menggunakan gambut [14].

Usman Syamsuddin dkk (2018), meneliti tentang gas buang dengan model 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 ΔV 3,31 Volt ; ΔT 15,0 °C (1 m), ΔV 3,92 Volt; ΔT 17,8 °C (2 m), ΔV 4,84 Volt ; ΔT 22,0 °C (3 m) sedangkan untuk sampah dengan pemadatan nilainya masing-masing ΔV 6,34 Volt ; ΔT 29,2 °C (1 m), ΔV 7,69 Volt ; ΔT 35,2 °C

(2 m), ΔV 9,09 Volt ; ΔT 41,5 °C (3 m). Potensi daya yang dapat dihasilkan adalah 3,22 W (1 m), 4,56 W (2 m), 6,88 W (3 m) sedangkan untuk sampah dengan pemadatan nilainya masing-masing sebesar 11,80 W (1 m), 17,36 W (2 m), 24,25 W (3 m). Penambahan variasi tinggi cerobong mengakibatkan peningkatan temperatur sisi panas (T_h), sisi dingin (T_c) dan beda temperatur (dT) sehingga energi panas dan daya mengalami peningkatan [15].

2.2. 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* [16,17].

Pada tahun 1934 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 ddialirkan, 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 1934 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier. Efek Seebeck dan Peltier inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi termoelektrik [16,17].

Emil Lenz pada tahun 1913 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 1955 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 [16].

Penelitian termoelektrik muncul kembali tahun 1990-an setelah sempat menghilang hampir lima dasawarsa karena efisiensi yang tidak bertambah. Setidaknya ada tiga alasan yang mendukung kemunculan tersebut.

Pertama, ada harapan besar ditemukannya termoelektrik dengan efisiensi tinggi, yaitu sejak ditemukannya material superkonduktor High-Tc pada awal Tahun 1986 dari bahan keramik. Kedua, sejak awal 1980-an teknologi material berkembang pesat dengan kemampuan menyusun material tersebut dalam level nano. Ketiga, pada awal tahun 1990, tuntutan dunia tentang teknologi ramah lingkungan sangat besar

yang berimbas kepada teknologi termoelektrik sebagai sumber energi alternatif [17].

2.3. Efek Termoelektrik

Termoelektrik adalah teknologi yang bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. Efek termoelektrik dipengaruhi oleh tiga efek yg berbeda yaitu [18-20] :

a) Efek Seebeck

Efek Seebeck adalah konversi langsung dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian tertutup dan di antara 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 [21]. 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 [19]:

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

Koefisien seebeck (s) disebut juga daya thermoelektrik, seperti pada persamaan berikut :

$$S = \frac{dEs}{T} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

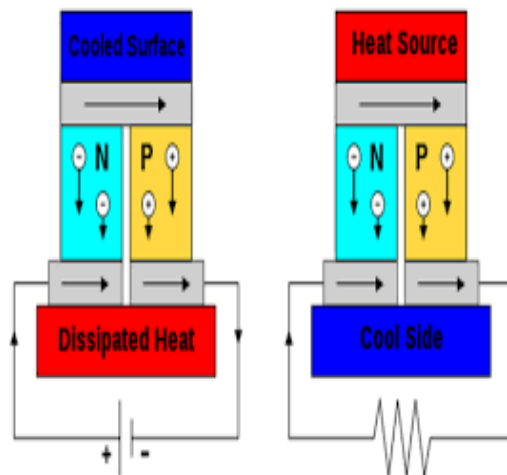
S = Koefisien seebeck (Volt/°K)

dEs = Potensial thermoelektrik terinduksi (Volt)

T = Temperatur (°K)

Sedangkan untuk perbedaan voltage (v), kita dapat menghitung dengan menggunakan rumus persamaan:

$$V = \int_{T_c}^{T_h} (S_B(T) - S_A(T)) dT \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.1 Skema ilustrasi efek Seebeck [19]

b) Efek Peltier

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 1934 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier [19].

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 thermoelektrik. Dari percobaan diketahui bahwa perpindahan panas sebanding terhadap arus mengalir. Persamaan dari efek adalah sebagai berikut :

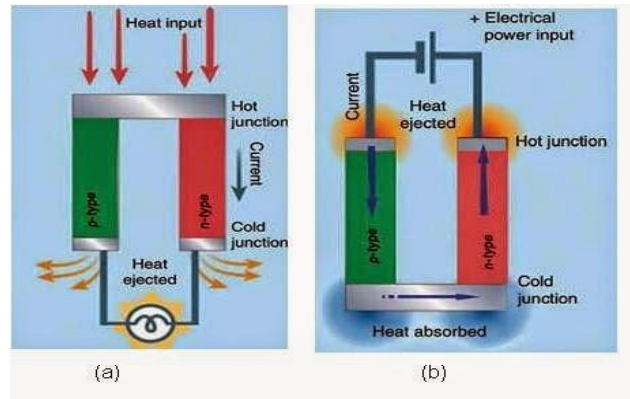
$$\pi_{ab} = \frac{Q}{I_{ab}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

π_{ab} = Koefisien peltier (Volt)

Q = Beban perpindahan panas (Watt)

I_{ab} = Arus Listrik (Ampere)



Gambar 2.2 Skeka ilustrasi efek Peltier [19]

c) 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:

$$\tau = \frac{Q}{I} \Delta T$$

.....

(2.5)

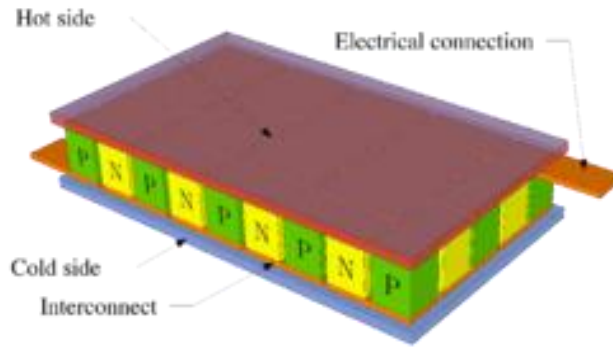
Keterangan :

τ = Koefisien pektier (Volt)

Q = Beban perpindahan panas (Watt)

I = Arus Listrik (Ampere)

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



Gambar 2.3 Skema Ilustrasi efek Thomson [19]

d) 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: [18]

$$Q_j = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- Q_j = Efek joule (panas joule) (watt)
- I = Arus Listrik (Ampere)
- R = Tahanan (Ohm)

e) Efek Konduksi

Panas akan merambat secara konduksi dari permukaan yang panas ke permukaan yang dingin.. Besarnya perambatan tersebut dinyatakan dalam persamaan [18]:

$$q_c = U \cdot (T_h - T_c) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- q_c = Laju aliran panas (watt)

U = konduktifitas thermal (Watt/°K)

T_h = Temperatur *hot junction* (°K)

T_c = Temperatur *cold junction* (°K)

2.4. 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 [17]:

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

2.5 Efisiensi Termoelektrik

Dalam penggunaan aplikasi pembangkit listrik terdapat jumlah maksimum energi yang dapat digunakan. Jumlah ini adalah efisiensi karnot maksimum. Dalam termoelektrik perbedaan temperatur yang besar antara sisi panas dan sisi dingin, maka semakin besar daya yang dihasilkan.

Sebagai perbandingan, pembangkit daya termoelektrik 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 [19].

Perangkat *thermoelectric* dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik arus searah (DC) ketika terjadi perbedaan temperatur. Namun, saat ini bahan *thermoelectric* yang tersedia mempunyai $ZT < 1$ dan efisiensi perangkat dalam menghasilkan energi listrik jarang melebihi 5 %. Kinerja ini membatasi *thermoelectric* generator untuk aplikasi dimana persyaratannya untuk operasi jarak jauh, tahan uji, tidak ada bagian yang bergerak, dan tidak menimbulkan suara telah melebihi aspek yang lebih buruk dari biaya mahal dan efisiensi konversi yang rendah [22].

Nilai efisiensi modul termoelektrik dapat ditingkatkan dengan meningkatkan beda suhu antara sisi panas dan dingin TEG. Perbedaan suhu dapat ditingkatkan dengan cara panas didisipasi pada sisi dingin TEG. Penggunaan *heatsink*, *fan water jacket*, atau hanya dengan memberi suhu lingkungan diatas sisi dingin TEG dapat dilakukan untuk membuang panas pada sisi dingin TEG sehingga perbedaan suhu sisi-panas dingin TEG meningkat [23].

2.6 Elemen Termoelektrik

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 kececepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Maka elektron akan mengalami difusi dari rapatan muatan tinggi kerapatan 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 [18].

2.6.1 Figure of Merit

Parameter material termoelektrik dilihat dari besar *figure of merit* atau sering disebut ZT. Suatu material termoelektrik idealnya memiliki konduktivitas listrik tinggi dan konduktivitas panas yang rendah. Tetapi pada kenyataannya sangat sulit mendapatkan material logam seperti itu, karena pada umumnya jika konduktivitas listrik suatu material tinggi, konduktivitas panasnya pun akan tinggi. *Figure of Merit* didefinisikan sebagai berikut [20]:

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{\lambda} \dots\dots\dots$$

(2.8)

Keterangan :

S = Koefisien Seebeck (volt/K)

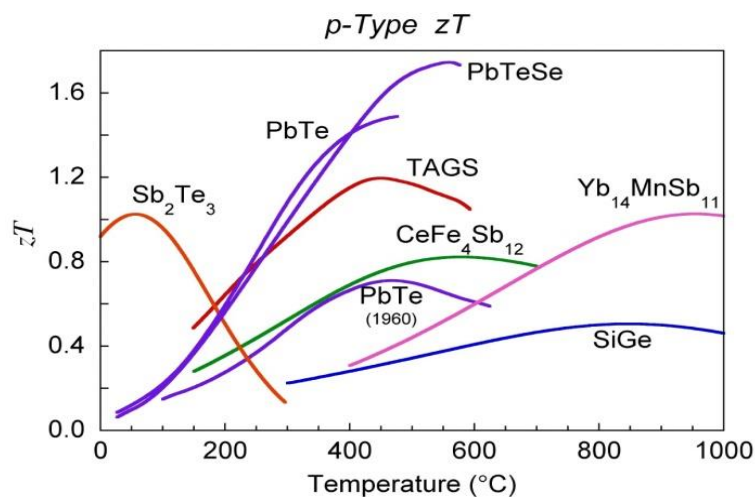
σ = Konduktivitas listrik bahan (A/Vm)

λ = Konduktivitas panas bahan (W/mK)

Jadi bahan termoelektrik yang baik harus mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi untuk meminimalkan kenaikan temperatur dari hambatan ke arus listrik yang mengalir melaluinya. Koefisien seebeck yang besar untuk perubahan maksimal dari panas menjadi daya listrik atau sebaliknya dari daya listrik

menjadi perbedaan temperatur. Konduktivitas panas rendah untuk mencegah konduktivitas panas melalui bahan material. Kerja sifat inilah yang menjadi dasar parameter yaitu *figure of merit*. Karena Z mempunyai satuan per derajat temperatur, maka *figure of merit* didefinisikan sebagai ZT , dimana T adalah temperatur kerja rata-rata. Parameter *figure of merit* ini penting untuk menentukan besarnya perubahan daya atau koefisien pendinginan maksimal dari kinerja termoelektrik [24].

Material yang digunakan saat ini adalah Bi_2Te_3 *Bismuth Telluride*, *Pbte Lead Telluride*, *SiGe Silicon Germanium*. Ketiga bahan ini bekerja dalam rentang temperatur berbeda. Bahan yang sering digunakan untuk aplikasi TEG dan TEC menggunakan Bi_2Te_3 yang mempunyai rentang 180 K sampai 620 K. Sedangkan bahan PbTe dan SiGe bekerja pada temperatur tinggi yang biasa digunakan untuk pembangkit listrik pesawat luar angkasa. Semakin tinggi nilai *figure of merit*, maka semakin tinggi nilai efisiensi dari termoelektrik. Gambar berikut adalah grafik jenis-jenis bahan semikonduktor berdasarkan *figure of merit* terhadap satuan temperatur K.



Gambar 2.4 Nilai *Figure of Merit* dari bahan semikonduktor yang berbeda-beda [25]

Perangkat termoelektrik dapat menjadi pembangkit listrik dan menghasilkan energi listrik ketika terjadi perbedaan temperatur pada material di termoelektrik. Saat ini efisiensi termoelektrik dalam pembangkit listrik sekitar 5% dan $ZT < 1$.

Sistem TEG beberapa modul generator termoelektrik (TEG) disusun dalam rangkaian interkoneksi seri ataupun paralel untuk memberikan tingkat daya yang diperlukan. Metode interkoneksi TEG ditentukan oleh tegangan atau arus yang dibutuhkan. TEG dapat dimodelkan secara seri sebagai sumber tegangan dan secara paralel sebagai resistansi internal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 [26].

2.7 Perhitungan Thermoelektrik

Bahan termoelektrik 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.

Dalam menganalisis kinerja modul termoelektrik, koefisien Seebeck yang menggambarkan tegangan (gaya gerak listrik) timbul karena perbedaan suhu menjadi sangat penting. Koefisien Seebeck dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [17,27]:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{(T_h - T_c)} \dots\dots\dots (2.9)$$

di mana:

ΔV = Perbedaan tegangan (V)

α = Koefisien Seebeck antara dua bahan semikonduktor, P dan N (V/°C)

T_h = Temperatur sisi panas modul (°C)

T_c = Temperatur sisi dingin modul (°C)

Sementara arus listrik yang dihasilkan diberikan oleh persamaan berikut [28]:

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{R_i + R_L} = \frac{\alpha(T_h - T_c)}{R_i + R_L} \dots\dots\dots (2.10)$$

di mana:

I = Arus listrik yang mengalir pada rangkaian (A)

R_i = Tahanan internal modul termoelektrik (Ω)

R_L = Tahanan eksternal (Ω)

$\Delta T = T_h - T_c$

Panas yang diserap (Q_H) dari sumber panas pada permukaan sisi panas (T_h) ke permukaan sisi dingin (T_c) adalah sebagai berikut [29]:

$$Q_H = (\alpha I T_h) + k(T_h - T_c) \dots\dots\dots (2.11)$$

Di mana k adalah konduktivitas termal modul (W/m °C).

Daya keluaran (P) [30] dan efisiensi (η) generator termoelektrik adalah sebagai berikut [31,32]

$$P = I V \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\eta = \frac{P}{Q_h} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.8 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 hancurkan dan membentuk adonan bubur kertas serta diproses sedemikian rupa dengan pabrikan mekanis sehingga terbentuk rak telur yang kita kenal selama ini.



Gambar 2.5 Rak telur limbah kertas [33]

2.9 Metode Pengeringan

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

a. Pengeringan 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 pada umumnya dibuat dari semen, permukaannya agak miring dan bergelombang dengan maksud agar air tidak menggenang, mudah dikeringkan dan permukaannya menjadi lebih luas. Cara penjemuran rak telur dihamparkan di lantai jemur dengan rapih agar mudah dibolak balik dan dikumpulkan pada saat sudah 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.

Pengeringan secara alami mempunyai kelemahan antara lain [34].

1. Memerlukan banyak tenaga kerja untuk menebarkan, membalik dan mengumpulkan kembali.
2. Sangat bergantung pada cuaca, sehingga rak telur tidak dapat dikeringkan apabila cuaca buruk terlebih-lebih apabila hujan datang pada saat sedang menjemur.
3. Memerlukan lahan yang luas.
4. Sulit mengatur suhu dan laju pengeringan di atas semen atau alas logam.

2.9.1 Pengeringan Buatan

Pengeringan buatan adalah metode pengeringan dengan menggunakan bantuan alat pengering. Pengeringan buatan mempunyai kelebihan dibanding pengering alami yaitu waktu penjemuran yang lebih 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), batu bara dan kayu, serta dengan menggunakan oven yang dipasangi ban berjalan. Salah satu alat pengering buatan yang banyak digunakan adalah jenis oven pengering yang dipasangi ban berjalan (belt conveyort dryer) [34].



Gambar 2.6 Pengering Rak Telur dengan Ban Berjalan [34]

2.10 Bahan Bakar Biomassa

Biomasa ialah suatu material organik yang berasal dari makhluk hidup yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku di industri untuk diolah menjadi bentuk lain yang bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Biomasa dapat dikategorikan menjadi dua yaitu bahan yang berasal dari tumbuhan dan bahan yang bukan berasal dari tumbuhan. Bahan yang berasal dari tumbuhan misalnya : hasil dari hutan, perkebunan, pertanian, dan sebagainya. Bahan yang bukan berasal dari tumbuhan misalnya : kotoran hewan dan limbah organik dari industri makanan dan tekstil. Biomasa merupakan bagian dari daur karbon [35].

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar alternatif terbarukan merupakan solusi tepat atas permasalahan yang muncul akibat penggunaan bahan bakar fosil. hal ini didasarkan pada beberapa keunggulan yang dimiliki oleh biomassa, yaitu :

1. Tidak menimbulkan emisi sulfur sehingga mengurangi hujan asam. Biomassa dapat mendaur ulang CO₂, sehingga dapat dikategorikan sebagai “bebas emisi”.
2. Pembakaran biomassa menghasilkan abu dalam jumlah lebih kecil daripada pembakaran batubara karena abu eks-batubara tersebut harus dibuang ke tempat lain.
3. Potensi biomassa juga dapat dilihat dari nilai kalor yang dihasilkan. Nilai kalor atau nilai panas yang dapat dihasilkan dari biomassa dapat digunakan sebagai standar klasifikasi dalam menentukan jenis bahan baku yang akan diprioritaskan dalam pemanfaatannya.

Asumsi nilai kalor (*calorific value*) dan kandungan air (*moisture content*) bahan baku biomassa ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 2.1. Asumsi nilai kalor dari beberapa sumber bahan baku [35]

No	Jenis Industri	Bahan Baku (Feedstock)	Value Kkal/kg	%
1	Kelapa Sawit	Serat sawit (<i>fiber</i>)	3340	30
		Cangkang sawit (<i>shell</i>)	4300	15
		Tandang kosong sawit (EFB)	1200	45
		Pelapah sawit (<i>Fron</i> d)	3350	20
		Batang <i>replanting</i> sawit (<i>Trunk</i>)	3500	20

2	Tebu	Ampas tebu (<i>bagasse</i>)	1850	50
		Daun dan pucuk tebu (<i>Cone</i>)	3000	30
3	Kelapa	Sabut kelapa	3300	30
		Tempurung kelapa (<i>coconut shell</i>)	4300	15
4	Karet	Batang <i>replanting</i> karet (<i>trunk</i>)	4400	15
5	Padi	Sekam padi (<i>rice husk</i>)	3350	12
		Jerami padi	2800	50
6	Jagung	Tongkol jagung (<i>corn cob</i>)	3500	14
		Batangdan daun jagung	2500	40
7	Kayu	Kayu limbah industri (<i>woodwaste</i>)	4400	15
8	Sampah Kota	<i>Refuse derived fuel (RDF from MSW)</i>	2200	20
9	Pulp & Paper	<i>Black liquor</i>	3300	70

2.11 Sekam Padi

Biomassa (bahan organik) merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau pertanian, hutan, peternakan atau bahkan sampah. Karena kandungan hidrokarbon yang dimiliki senyawanya, biomassa dapat digunakan untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan membangkitkan listrik.

Sekam merupakan salah satu sumber energi biomassa yang sangat potensial dikembangkan untuk mengantisipasi ancaman krisis energi dimasa akan datang. Menurut laporan IEA (2003) bahwa di negara yang sedang berkembang, ketersediaan sumber energi biomassa dapat memenuhi 25% kebutuhan energi. Meskipun nilai kalornya relatif kecil tetapi sangat potensial dikembangkan dan diekspose keberlanjutannya untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga.

Sekam padi mempunyai nilai kalor rata-rata 15 MJ/kg setara dengan 3583 Kkal/kg .Sekam padi memiliki berat jenis 125 kg/m³ dan konduktifitas panas 0,271 BTU/lb setara dengan 0,295 kJ/kg . Sekam padi mempunyai panjang sekitar 8-10 mm dengan lebar 2-3 mm dan tebal 0,2 mm.



Gambar 2.7 Sampel Sekam Padi [35]

Tungku sekam merupakan tempat terjadinya pembakaran, merupakan tempat terjadinya reaksi perubahan energi kimia dan menimbulkan asap. Di beberapa negara yang berbasis pertanian seperti Indonesia, Thailand dan Pilipina telah digunakan tungku-tungku sekam sederhana yang mengatasi sifat-sifat yang kurang menguntungkan. Untuk mendapatkan hasil nyala yang bersih dan

panas tungku sekam tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga tercipta suatu aliran udara secara alamiah. Cara-cara yang digunakan untuk membakar sekam padi sebagai bahan bakar dapat dibagi tiga golongan :

- a. Dengan cara menyebarkan bahan bakar (sekam padi) pada suatu saluran udara agar nyala api dapat melaluinya atau membakarnya. Agar dapat menyala dengan baik tungku-tungku jenis ini memerlukan sejumlah kecil tambahan bahan bakar yang lain.
- b. Dengan menggunakan tungku yang di dalamnya tercipta aliran udara secara alamiah. Tungku-tungku ini mempergunakan sebuah pintu atau kotak pemasukan bahan bakar, sebuah garangan atau rangka bakar, serta sebuah cerobong.
- c. Membakar secara langsung seperti sering yang dilakukan oleh masyarakat.[35]