

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS TERMOELEKTRIK GENERATOR (TEG)  
DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MESIN *VACUUM FRYING*  
SEBAGAI *HARVESTING* ENERGI LISTRIK**

**(Studi Kasus : Desa Kualu Nenas)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains Dan Teknologi



oleh :

**DARA RULIANTI AMANDA**

**11555200535**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

**PEKANBARU**

**2019**

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS TERMOELEKTRIK  
GENERATOR (TEG) DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MESIN  
VACUUM FRYING SEBAGAI HARVESTING ENERGI LISTRIK  
(Studi Kasus : Desa Kualu Nenas)**

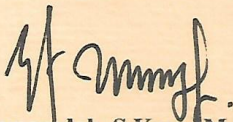
### TUGAS AKHIR

Oleh :

**DARA RULIANTI AMANDA**  
**11555200535**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 20 Desember 2019

**Ketua Program Studi**



**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom**  
**NIP. 19750922 200912 2 002**

**Pembimbing**



**Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc**  
**NIK. 130517054**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS TERMOELEKTRIK GENERATOR (TEG)  
DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MESIN *VACUUM FRYING*  
SEBAGAI *HARVESTING* ENERGI LISTRIK  
(Studi Kasus : Desa Kualu Nenas)

### TUGAS AKHIR


Oleh:

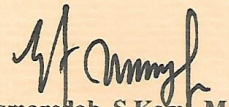
DARA RULIANTI AMANDA  
11555200535

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 20 Desember 2019

Pekanbaru, 20 Desember 2019

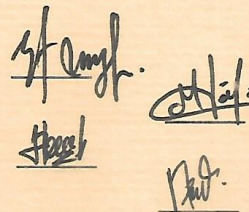
Mengesahkan,

  
Dekan  
Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag  
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi  
  
Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom  
NIP. 19750922 200912 2 002

#### DEWAN PENGUJI :

Ketua : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.  
Sekretaris : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.  
Anggota I : Dr. Liliana, ST., M.Eng.  
Anggota II : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc.



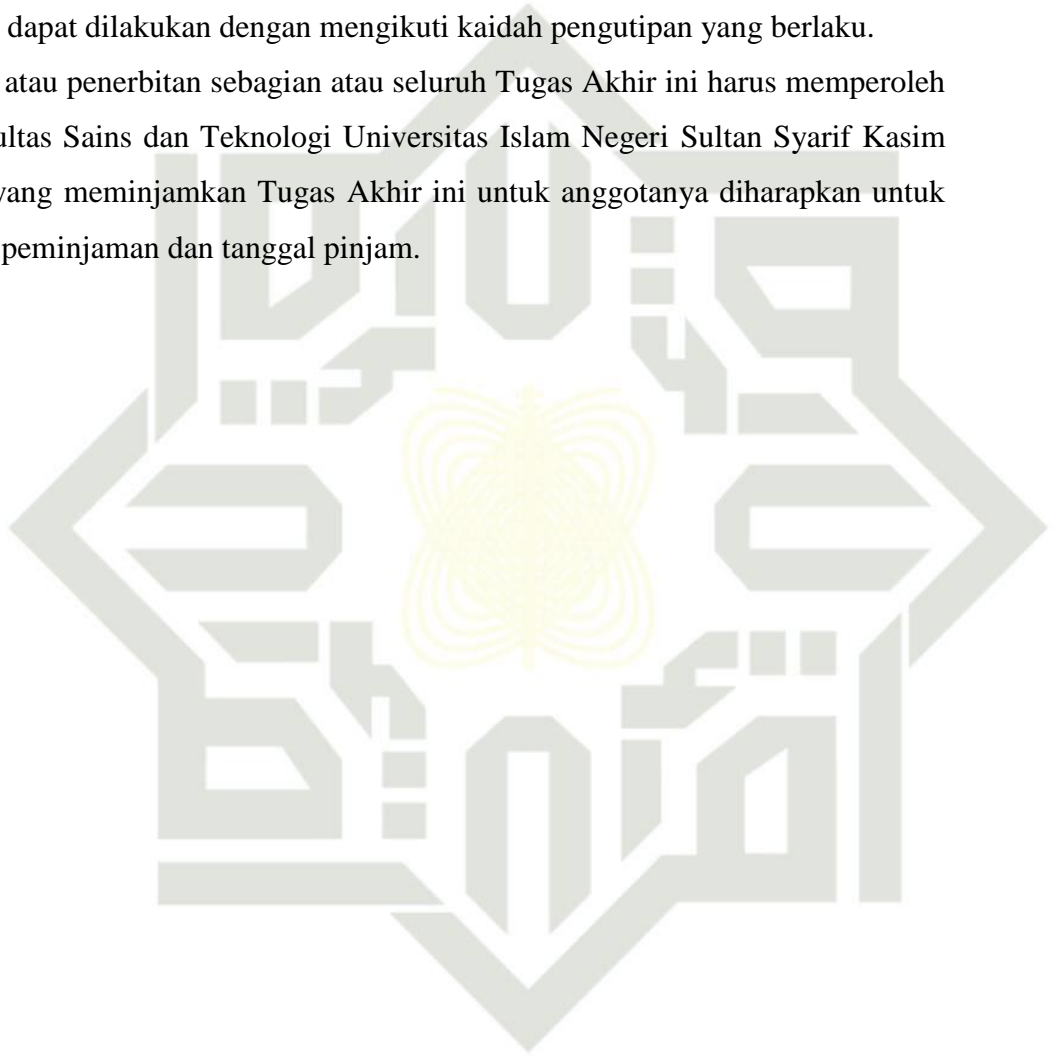
## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, 20 Desember 2019  
yang membuat pernyataan,

Dara Rulianti Amanda  
NIM. 11555200535

UIN SUSKA RIAU

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

## LEMBAR PERSEMBAHAN

*“Karena sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan”*(Q.S Al Insyirah : 5 - 6).

“Untuk Ibu, Ibu, Ibu Libbibabetti Tercinta dan Ayahanda terhormat Rudy, serta Saudara laki-laki tercinta Jaka Rulianda

Karya ini kupersembahkan untukmu Ibu

Alhamdulillah puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, yang selalu memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya. Shalawat dan salam ucapkan kepada nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman islamiah.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk orang tua yang telah memberikan saya kesempatan untuk bisa menjadi seorang anak yang mandiri dan terdidik, dengan kerja keras dan do’a – do’a yang selalu Ibu, Ayah panjatkan didalam sujudmu demi masa depan anak-anak Ibu, dan saudara laki-laki saya yang selalu memberi dukungan dan semangat. Semoga dengan menyelesaikan masa belajar ini kami berharap bisa menjadi kebanggaan untukmu. Ucapkan terimakasih yang sangat besar bagi dosen pembimbing Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc. saudara perjuangan muhammad tommy afri putra dan ahmad rian nur yang secara tidak langsung menjadi mentor diskusi selaku wadah inspirasi. Semoga Allah limpahkan keberkahan, kesehatan dan umur yang panjang, tak sedikitpun jasa mu mampu terbalaskan begitu luas dan dalam.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS TERMOELEKTRIK GENERATOR (TEG) DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MESIN *VACUUM FRYING* SEBAGAI *HARVESTING* ENERGI LISTRIK

(Studi Kasus : Desa Kualu Nenas)

**DARA RULIANTI AMANDA**

**11555200535**

Tanggal Sidang: 20 Desember 2019

Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

## ABSTRAK

Energi merupakan kebutuhan mendasar bagi kehidupan manusia yang terus mengalami peningkatan kebutuhan konsumsi energi listrik. Untuk menjaga keseimbangan pasokan energi dilakukan peralihan dari energi fosil ke energi terbarukan. Pada potensi energi terbarukan yang banyak digunakan akan menghasilkan sejumlah energi terbuang dalam bentuk energi panas, karena ketika terjadi konversi energi akan menghasilkan energi panas terbuang sekitar 35-40% dan tidak termanfaatkan. Energi panas dapat disediakan dalam skala kecil dengan menggunakan metode *harvesting* energi. Energi panas yang akan di *harvesting* pada penelitian ini berasal dari mesin *vacuum frying* yaitu *home industry* usaha baru ibu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kelayakan teknis dan ekonomis pada pembangkitan listrik TEG dengan memanfaatkan potensi panas mesin *vacuum frying*. Mesin *vacuum frying* ini merupakan mesin yang mengkonsumsi energi listrik paling besar, sehingga dari penggunaan listrik yang besar terjadinya pengurangan *home industry*. Tetapi untuk mengatasi besarnya penggunaan konsumsi listrik dapat memanfaatkan potensi energi panas yang dihasilkan dari mesin *vacuum* saat beroperasi untuk dijadikan energi listrik. Dari potensi energi panas yang dihasilkan dari mesin tersebut akan di *harvesting* dengan cara menggunakan modul termoelektrik generator (TEG). TEG merupakan *solid state* yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik dengan berdasarkan prinsip efek *seebeck*. Hasil yang didapat dari penelitian ini berupa analisis teknis yang dihasilkan menggunakan *comsol multiphysics* 5.3a untuk mendapatkan keluaran berupa total daya yang dihasilkan dari modul TEG sebesar 3,250 watt dengan rata-rata 0,464 watt, efisiensi sebesar 0,1669 % dengan rata-rata 0,0238% , kapasitas pembangkitan daya listrik TEG yang dihasilkan sebesar 1,607 kWh sehingga untuk kapasitas pembangkitan dihasilkan dalam sebulan sebesar 48,21 kWh, dan dari kapasitas daya listrik yang dihasilkan mampu mengcover perangkat elektronik hanya pada lampu, dan kipas angin. Serta analisis ekonomi yang didapatkan berupa biaya investasi awal sebesar Rp. 2.366.253,00, biaya *operating and maintenance* sebesar Rp. 23.662,53 selama setahun, *annual benefit* sebesar Rp. 860.640,420, dan *payback period* selama 2 tahun 8 bulan untuk terbebas dari tagihan listrik.

Kata kunci : Termoelektrik Generator (TEG), *Harvesting* Energi, Mesin *Vacuum Frying*, *Comsol multiphysics* 5.3a

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THERMOELECTRIC GENERATOR  
(TEG) BY USING HEAT FRYING VACUUM MACHINE AS ELECTRICAL ENERGY  
HARVESTING (Case Study: Kualu Pineapple Village)**

**DARA RULIANTI AMANDA**

**11555200535**

*Date Of The Session: 20 December 2019*

*Departement Of Electrical Engineering  
Faculty Of Science And Technology  
Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University Riau  
Street Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

**ABSTRACT**

Energy is a basic need for human life which continues to experience an increase in the need for electricity consumption. To maintain the balance of energy supply, the transition from fossil energy to renewable energy is carried out. The potential of renewable energy that is widely used will produce a number of wasted energy in the form of heat energy, because when there is an energy conversion will produce wasted heat energy around 35-40% and is not utilized. Thermal energy can be provided on a small scale using the energy harvesting method. The heat energy that will be harvested in this research comes from the vacuum frying machine, which is the mother's new home industry. This study aims to analyze the technical and economic feasibility of generating TEG electricity by utilizing the potential heat of a vacuum frying machine. This vacuum frying machine is a machine that consumes the most electrical energy, so from the large electricity usage the reduction in home industry occurs. But to overcome the large use of electricity consumption can exploit the potential of heat energy generated from the vacuum engine when operating to be used as electrical energy. The potential of the thermal energy generated from the machine will be harvested by using a thermoelectric generator (TEG) module. TEG is a solid state that can convert heat energy into electrical energy based on the principle of the Seebeck effect. The results obtained from this study in the form of technical analysis produced using comsol multiphysics 5.3a to get the output in the form of total power generated from the TEG module of 3,250 watts with an average of 0.464 watts, an efficiency of 0.1669% with an average of 0.0238 %, the TEG electric power generation capacity generated is 1,607 kWh so that the generation capacity generated in a month is 48.21 kWh, and the capacity of the electric power generated is able to cover electronic devices only on lamps and fans. And economic analysis obtained in the form of an initial investment cost of Rp. 2,366,253.00, operating and maintenance costs of Rp. 23,662,53 for a year, annual benefit of Rp. 860,640,420, and a payback period of 2 years and 8 months to be free from electricity bills.

*Keywords: Thermoelectric generator (TEG), Energy Harvesting, Vacuum Frying Machine, modeling, comsol multiphysics 5.3a.*



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Shalawat beserta salam yang tercurahkan kepada junjungan alam Nabi besar Muhammmad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin umat yang patut diteladani bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman. Dalam penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Atas berkat rahmat dan ridho Allah SWT penulis dapat Menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Teknis Dan Ekonomis Termoelektrik Generator (TEG) Dengan Memanfaatkan Panas Mesin *Vacuum Frying* Sebagai *Harvesting* Energi Listrik (Studi Kasus : Desa Kualu Nenas)”.

Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada program Sarjana S1 di Uin Suska Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Pada proses pembuatan Tugas Akhir banyak penulis dapatkan masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikannya, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik itu berupa bantuan moral, materil, atau berupa pikiran yang tidak akan pernah terlupakan. Antara lain kepada:

1. Ibunda tercinta Libbibabeti, ayahanda tercinta Rudy dan abang saya Jaka Rulianda yang telah memberikan semangat, dukungan moril, maupun materil dan doa kepada penulis.
2. Saudara seperjuangan saya Muhammad Tommy Afri Putra dan Ahmad Riannur yang telah memberikan saran dan masukan motivasi agar penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. DR. H. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Dr. Drs. Ahmad Darmawi selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
5. Ibu Ewi Ismaredah, S. Kom., M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau yang telah membuat proses administrasi pada Program Studi Teknik Elektro menjadi lebih baik dan efektif.

6. Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan banyak waktu serta pemikirannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Pada penyelesaiannya melalui beliau penulis mendapatkan pengetahuan yang sangat berharga, dengan keikhlasan dan kesabaran dalam memberikan penjelasan dari nol hingga penulis menjadi paham sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
7. Ibu Dr. Liliana, ST.,M.Eng selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
8. Ibu Nanda Putri Miefhawati, B.Sc.,M.Sc selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.

Atas jasa-jasa yang telah diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur yang berlaku di Fakultas Teknik Elektro. Tanpa bantuan dan dorongan yang diberikan, penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini, oleh sebab itu penulis mengucapkan terimah kasih kepada semua pihak yang telah meluangkan waktunya, hanya Allah SWT yang mampu membalas niat baik dan keikhlasan dengan sempurna. Semoga dengan keiklasan mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis mengharapkan dengan adanya Tugas Akhir ini mampu memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Pada penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT dan kekurangan datang dari penulis. Dalam hal ini penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan ilmu, pengalaman dan pengetahuan penulis dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini, maka dari itu untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini penulis mengharapkan kritikan dan saran kepada semua pihak yang sifatnya membangun.

Pekanbaru, 20 Desember 2019

Dara Rulianti Amanda

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PALAMAN COVER</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>DAFTAR RUMUS</b> .....	xx
<b>DAFTAR LAMBANG</b> .....	xxi
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xxii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	I -1
1.1 Latar Belakang.....	I -1
1.2 Rumusan Masalah .....	I -5
1.3 Tujuan Penulisan .....	I -5
1.4 Batasan Masalah .....	I -5
1.5 Manfaat Penelitian.....	I -6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	II-1
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Profil Desa Kualu Nenas .....	II-3
2.2.1 Sejarah Desa Kualu Nenas .....	II-3
2.2.2 Potensi di Desa Kualu Nenas .....	II-3
2.3 Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	II-4

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4	Termokopel .....	II-7
2.4.1	Pengertian Termokopel .....	II-7
2.4.2	Prinsip Kerja Termokopel .....	II-7
2.4.3	Jenis-jenis Termokopel .....	II-7
2.5	<i>Harvesting</i> Energi.....	II-9
2.5.1	Energi <i>Input</i> .....	II-9
2.6	Perpindahan panas .....	II-10
2.6.1	Konduksi.....	II-10
2.6.2	Konveksi.....	II-12
2.6.3	Radiasi .....	II-12
2.7	Dasar Termoelektrik .....	II-12
2.7.1	Efek Termoelektrik.....	II-13
2.7.1.1	Efek <i>Seebeck</i> .....	II-13
2.7.1.2	Efek <i>Peltier</i> .....	II-15
2.7.2	Bahan Material Termoelektrik Generator (TEG).....	II-15
2.7.3	Sifat Material dari Termoelektrik Generator (TEG).....	II-16
2.7.3.1	Koefisien <i>Seebeck</i> .....	II-17
2.7.3.2	Konduktivitas Termal .....	II-18
2.7.3.3	Konduktivitas Listrik .....	II-18
2.7.4	Termoelektrik Generator (TEG).....	II-18
2.7.5	Komponen Struktur Termoelektrik Generator (TEG).....	II-19
2.7.5.1	<i>Heatsink</i> (Alat Penukar Kalor) .....	II-19
2.7.5.2	Modul Termoelektrik Generator (TEG) .....	II-19
2.8	Performansi Parameter dari Termoelektrik Generator (TEG).....	II-21
2.9	Konfigurasi Termoelektrik Generator (TEG).....	II-22
2.10	Penyelesaian Model Matematika .....	II-25
2.10.1	Model Matematika .....	II-25
2.10.1.1	Metode Numerik .....	II-25
2.10.1.2	Metode Analitik .....	II-26
2.10.2	Model Matematika .....	II-26
2.11	Analisis Perhitungan Potensi Keluaran dari Termoelektrik	

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Generator (TEG).....	II-27
2.11.1 Tegangan Listrik.....	II-27
2.11.2 Arus Listrik.....	II-27
2.12 Simulasi .....	II-28
2.11.1 Konsep Simulasi.....	II-28
2.11.2 Manfaat Simulasi.....	II-29
2.11.3 Tahapan Simulasi .....	II-29
2.13 <i>Software</i> untuk Persamaan Differensial Matematika.....	II-30
2.12.1 <i>Fluent</i> .....	II-30
2.12.2 <i>Ansys</i> .....	II-31
2.14 <i>Cmsol Multiphysics 5.3a</i> .....	II-31
2.14.1 Langkah-langkah Mensimulasikan Cmsol .....	II-32
2.15 Analisis Kelayakan .....	II-32
2.15.1 Analisis Teknis .....	II-32
2.15.1.1 Daya Listrik yang dihasilkan dari Termoelektrik Generator (TEG).....	II-33
2.15.1.2 Efisiensi Termoelektrik Generator (TEG) .....	II-33
2.15.1.3 Kapasitas Produksi Pembangkitan Listrik Modul TEG.....	II-34
2.15.1.4 Menghitung Luasan Mesin <i>Vacuum</i> dan TEG Serta Peletakkan Modul TEG .....	II-35
2.15.1.4 Daya Pembangkitan Listrik .....	II-35
2.15.2 Analisis Ekonomi .....	II-36
2.15.2.1 Aspek Biaya .....	II-36
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>III-1</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	III-1
3.2 Alur proses Penelitian.....	III-1
3.3 Tahap perencanaan .....	III-3
3.3.1 Identifikasi Masalah .....	III-3
3.3.2 Penentuan Judul Penelitian.....	III-3
3.3.3 Rumusan Masalah .....	III-3
3.3.4 Tujuan Manfaat .....	III-4

3.4 Studi Literatur.....	III-4
3.5 Pengumpulan Data Termoelektrik Generator (TEG) .....	III-4
3.5.1 Pengambilan Sampel .....	III-4
3.5.1.1 Teknik <i>Sampling</i> .....	III-4
3.5.2 Alat yang Digunakan .....	III-5
3.5.3 Data Primer .....	III-5
3.5.3.1 Data Temperatur Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	III-5
3.5.3.2 Data Profil Beban .....	III-5
3.5.4 Data Sekunder .....	III-5
3.5.4.1 Data Spesifikasi Termoelektrik Generator (TEG).....	III-6
3.5.4.2 Sifat Material dari Modul Termoelektrik Generator (TEG).....	III-6
3.5.4.3 Data Spesifikasi Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	III-7
3.6 Analisis Perhitungan Potensi Keluaran Termoelektrik Generator (TEG) .....	III-7
3.6.1 Melihat Potensi Panas .....	III-7
3.6.2 Memilih Spesifikasi Termoelektrik Generator (TEG) .....	III-7
3.6.3 Melakukan Simulasi <i>Comsol Multiphysics 5.3a</i> .....	III-8
3.6.4 Tahap simulasi.....	III-8
3.6.4.1 Melakukan Pemrosesan Awal .....	III-9
3.6.4.2 Perhitungan Numerik .....	III-13
3.6.4.3 Pemrosesan Akhir .....	III-13
3.7 Analisis Kelayakan .....	III-13
3.7.1 Analisis Teknis .....	III-13
3.7.1.1 Daya Listrik yang dibangkitkan dari Termoelektrik Generator (TEG).....	III-13
3.7.1.2 Efisiensi Termoelektrik Generator (TEG) .....	III-14
3.7.1.3 Kapasitas Produksi Pembangkitan Listrik Modul TEG ...	III-14
3.7.2 Analisis Ekonomis.....	III-14
3.7.2.1 Analisis Biaya .....	III-14
3.8 Penilaian Kelayakan .....	III-15
3.9 <i>Initial Result</i> .....	III-15

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>IV-1</b>
4.1 Pemilihan Lokasi .....	IV-1
4.2 Kondisi Profil Beban .....	IV-1
4.3 Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	IV-3
4.3.1 Alat yang Digunakan.....	IV-3
4.3.2 Potensi energi Panas Temperatur Panas Mesin <i>Vacuum Frying</i> di Ukur pada Saat Mesin Beroperasi .....	IV-5
4.4 Data Sekunder .....	IV-6
4.4.1 Spesifikasi Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	IV-6
4.4.2 Spesifikasi Termoelektrik Generator (TEG).....	IV-7
4.4.3 Sifat Material Modul Termoelektrik Generator (TEG).....	IV-10
4.5 Validasi .....	IV-11
4.6 Profil Tegangan .....	IV-13
4.7 Energi Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG) .....	IV-14
4.7.1 Tegangan Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)) .....	IV-14
4.7.2 Arus Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG) .....	IV-15
4.7.3 Daya Modul Termoelektrik Generator (TEG) .....	IV-15
4.7.4 Energi Panas yang Diserap Modul Termoelektrik Generator (TEG) .....	IV-16
4.7.5 Efisiensi Modul Termoelektrik Generator (TEG).....	IV-17
4.7.6 Energi Listrik pada Modul Termoelektrik Generator (TEG).....	IV-18
4.8 Analisis Kelayakan .....	IV-23
4.9 Analisis Teknis .....	IV-24
4.9.1 Menentukan Peletakkan Modul TEG dari Luasan Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	IV-24
4.9.2 Pembangkitan daya Listrik TEG .....	IV-25
4.9.2.1 Total Energi TEG .....	IV-26
4.9.2.2 Kapasitas Pembangkitan Daya Listrik Termoelektrik Generator (TEG) dalam Sebulan .....	IV-27
4.9.3 Kapasitas Daya Listrik TEG yang Dihasilkan memenuhi Beban Konsumsi Listrik .....	IV-27

4.10 Pemilihan Komponen Pembangkitan Listrik Termoelektrik	
Generator (TEG) .....	IV-27
4.11 Analisis Ekonomi Biaya Pembangkitan Listrik TEG .....	IV-27
4.11.1 Biaya Investasi Awal .....	IV-30
4.11.2 Biaya <i>Operating and Maintenance</i> .....	IV-32
4.11.3 <i>Annual Bennefit</i> .....	IV-32
4.11.4 <i>Payback Period (PBP)</i> .....	IV-32
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	V-1
5.1 Kesimpulan .....	V-1
5.2 Saran .....	V-2

**DAFTAR KEPUSTAKAAN**

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

**LAMPIRAN D**



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	II - 5
Gambar 2.2 Kerangka Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	II - 6
Gambar 2.3 Jenis-jenis Termokopel ( <i>Thermocouple</i> ) .....	II - 9
Gambar 2.4 Mekanisme Konduksi .....	II- 11
Gambar 2.5 Aliran Panas Daerah Menuju Daerah Dingin .....	II- 11
Gambar 2.6 Struktur Pembangkit Daya Termoelektrik .....	II- 12
Gambar 2.7 Diagram Efek <i>Seebeck</i> .....	II- 16
Gambar 2.8 Skema Efek <i>Seebeck</i> .....	II- 14
Gambar 2.9 Skema Efek <i>Peltier</i> .....	II- 14
Gambar 2.10 Kinerja Bahan Termoelektrik .....	II- 14
Gambar 2.11 Skematis dari Sifat Bahan Material Termoelektrik Generator (TEG) .....	II- 14
Gambar 2.12 Termoelektrik Generator (TEG) Tipe TEG1-24111-6.0 .....	II- 14
Gambar 2.13 Karakteristik Geometri Dimensi Termoelektrik Generator (TEG) .....	II- 14
Gambar 2.14 Model Elektrik Termoelektrik Generator (TEG) .....	II- 19
Gambar 2.15 Daya Pembangkit .....	II- 29
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian .....	III - 2
Gambar 3.2 Diagram Simulasi .....	III - 8
Gambar 3.3 Ikon Comsol .....	III - 8
Gambar 3.4 Membuat Model Baru dengan <i>Model Wizard</i> dan <i>Blank Model</i> .....	III - 9
Gambar 3.5 Pilih Ruang Dimensi .....	III - 9
Gambar 3.6 Pemilihan <i>Select Physics&gt;Heat Transfer&gt;Thermoelectric Effect</i> .....	III - 9
Gambar 3.7 <i>Added Physics Interface</i> .....	III-10
Gambar 3.8 Tampilan <i>Select Study</i> .....	III-10
Gambar 3.9 Memilih <i>Parameters</i> .....	III-11
Gambar 3.10 <i>Setting Block</i> .....	III-11
Gambar 3.11 Masukkan Nama <i>Layer I</i> pada <i>Block I</i> .....	III-12

Gambar 3.12	Masukkan Nama <i>Layer I</i> pada <i>Block I</i> .....	III-12
Gambar 3.13	Pemilihan Material <i>Bismuth Telluride</i> ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ).....	III-12
Gambar 3.14	Pemilihan Material Bahan Semikonduktor.....	III-13
Gambar 3.15	Aliran Temperatur Pada (a)Jurnal Rujukan dan (b)Simulasi .....	III-16
Gambar 3.16	<i>Electrical</i> Potensial Pada (a)Jurnal Rujukan dan (b)Simulasi .....	III-16
Gambar 4.1	Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	IV- 3
Gambar 4.2	<i>Thermometer Type K</i> .....	IV- 4
Gambar 4.3	Termokopel .....	IV- 4
Gambar 4.4	Pengukuran Temperatur Panas dari Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	IV- 6
Gambar 4.5	Profil Temperatur pada (a) Jurnal Rujukan dan (b) Hasil Validasi .....	IV-12
Gambar 4.6	<i>Electrical</i> Potensial pada (a) Jurnal Rujukan dan (b) Hasil Validasi .....	IV-12
Gambar 4.7	Hasil Profil Tegangan TEG1-24111-6.0.....	IV-13
Gambar 4.8	Grafik Tegangan Pada Modul TEG .....	IV-19
Gambar 4.9	Grafik Arus Listrik Pada Modul TEG .....	IV-20
Gambar 4.10	Grafik Daya Listrik Pada Modul TEG .....	IV-21
Gambar 4.11	Grafik Energi Panas yang di Serap Pada Modul TEG .....	IV-22
Gambar 4.12	Grafik Efisiensi Pada Modul TEG .....	IV-23
Gambar 4.13	Peletakkan TEG pada Bagian Depan Mesin <i>Vacuum Frying</i> .....	IV-24
Gambar 4.14	Peletakkan TEG pada Bagian Belakang Mesin <i>Vacuum Frying</i> ...	IV-25
Gambar 4.15	Diagram Pembangkitan Termoelektrik Generator (TEG) .....	IV-30

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Konfigurasi Susunan Termoelektrik Generator (TEG) Pada Beberapa Penelitian..... II-19
Tabel 3.1	Jadwal Penelitian ..... III-4
Tabel 3.2	Data Sekunder Spesifikasi Modul TEG1-24111-6.0..... III-15
Tabel 3.3	Data Sekunder Material <i>Bismuth Telluride</i> dan <i>Copper</i> (Tembaga)..... III-15
Tabel 3.4	Data Pengukuran Temperatur Panas Mesin <i>Vacuum Frying</i> ..... III-16
Tabel 3.5	Data Profil Beban ..... III-17
Tabel 4.1	Profil Beban ..... IV-2
Tabel 4.2	Potensi Energi Panas Temperatur Mesin <i>Vacuum Frying</i> Diukur Pada Saat Mesin Beroperasi..... IV-5
Tabel 4.3	Spesifikasi Mesin <i>Vacuum Frying</i> ..... IV-6
Tabel 4.4	Spesifikasi Modul TEG1-24111-6.0 ..... IV-8
Tabel 4.5	Perhitungan Material <i>Bismuth Telluride</i> ..... IV-10
Tabel 4.6	Sifat Material <i>Bismuth Telluride</i> dan <i>Copper</i> ..... IV-10
Tabel 4.7	Tegangan Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)..... IV-14
Tabel 4.8	Arus Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)..... IV-15
Tabel 4.9	Daya Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG) ..... IV-16
Tabel 4.10	Energi Panas yang Diserap Pada Modul Termoelektrik Generator (TEG) .IV-16
Tabel 4.11	Efisiensi Modul Termoelektrik Generator (TEG) ..... IV-17
Tabel 4.12	Energi Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)..... IV-18
Tabel 4.13	Total waktu untuk mesin <i>vacuum frying</i> beroperasi..... IV-26
Tabel 4.14	Spesifikasi Adaptor <i>Power Supply</i> ..... IV-28
Tabel 4.15	Biaya Investasi Awal Pembangkitan Listrik ..... IV-31

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau. State Islamic University of Sultan Syarif Kasim I

## DAFTAR RUMUS

1	Persamaan Laju Perpindahan Panas Konduksi .....	II-11
2	Persamaan Rumus Koefisien <i>Seebeck</i> .....	II-14
3	Persamaan Performansi Arus Listrik .....	II-21
4	Persamaan Resistivitas Listrik .....	II-21
2.5	Persamaan <i>Electrical Resistance</i> .....	II-21
2.6	Persamaan Tegangan tiap Modul .....	II-21
2.7	Persamaan <i>Output</i> Daya yang diberi Tahanan Beban Eksternal .....	II-22
2.8	Persamaan <i>Output</i> Daya.....	II-22
2.9	Persamaan <i>Output</i> Daya Maksimum.....	II-22
2.10	Persamaan <i>Figure Of Merit</i> .....	II-22
2.11	Persamaan Hukum Ohm .....	II-24
2.12	Persamaan Hubungan Rangkaian Seri .....	II-24
2.13	Persamaan Hubungan Paralel.....	II-25
2.14	Persamaan Pemodelan Kepadatan Aliran Panas .....	II-26
2.15	Persamaan Kepadatan Arus Listrik.....	II-26
2.16	Persamaan Medan Listrik pada Termoelektrik .....	II-26
2.17	Persamaan Differensial pada Termoelektrik.....	II-26
2.18	Persamaan Differensial Parsial .....	II-27
2.19	Persamaan Daya Listrik .....	II-33
2.20	Persamaan Konversi Efisiensi Daya Maksimum .....	II-34
2.21	Persamaan Total Panas yang Diserap .....	II-34
2.22	Persamaan Efisiensi pada Termoelektrik .....	II-34
2.23	Perhitungan Pembangkitan Daya Listrik TEG .....	II-34
2.24	Persamaan Perhitungan Pemakaian Daya Listrik Per-kWh .....	II-34
2.25	Persamaan Luas Penampang Termoelektrik .....	II-34
2.26	Persamaan Luas Penampang Termoelemen .....	II-34
2.27	Persamaan Biaya <i>Operational and Maintenance</i> .....	II-36
2.28	Persamaan <i>Payback Period</i> (PBP).....	II-36

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau  
Satya Isaripic University of Sultan Syarif Kasim I

Persamaan Perhitungan Pengambilan Sampel .....	III- 5
Persamaan Luas Selimut Tabung .....	III-7



UIN SUSKA RIAU

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim I

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR LAMBANG

© Hak cipta milik UIN Suska Riau	$R$	Hambatan Listrik ( $\Omega$ m)
	$n$	jumlah modul
	$\rho$	Massa Jenis ( $\text{kg/m}^3$ )
	$R$	Hambatan ( $\Omega$ )
	$R_L$	Hambatan Dalam ( $\Omega$ )
	$k$	= Konduktivitas <i>Thermal</i> ( $\text{W/m.K}$ )
	$A$	= Luas Penampang ( $\text{m}^2$ )
	$T_h$	= Temperatur Panas (K)
	$T_c$	= Temperatur Dingin (K)
	$V$	= Tegangan (volt)
	$V_{oc}$	Tegangan Terbuka (volt)
	$d$	Diameter (m)
	$r$	Jari- jari (m)
	$L$	Panjang (m)
	$\ell$	Lebar (m)
	$t$	Tinggi (m)
	$Q_h$	Energi yang Diserap (watt)

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR SIMBOL

<p>© Hak cipta milik UIN Suska Riau</p> <p>State Islamic University of Sultan Syarif Kasim I</p>	<p>Koefisien <i>Seebeck</i> (<math>V/K</math>)</p> <p>Jumlah modul</p> <p>Daya Termoelektrik Generator (TEG) (V)</p> <p>Efisiensi Termoelektrik Generator (TEG)</p> <p>Arus Termoelektrik Generator (TEG) (A)</p> <p><math>z</math> = <i>Figure of merit</i> (<math>K^{-1}</math>)</p> <p><math>T_h</math> = Temperatur panas (<math>^{\circ}C</math>)</p> <p><math>T_c</math> = Temperatur dingin (<math>^{\circ}C</math>)</p> <p><math>P_{max}</math> = Daya maksimum (Watt)</p> <p><math>I_{max}</math> = Arus Maksimum (A)</p> <p><math>V_{max}</math> = Tegangan Maksimum (Volt)</p> <p><math>\Delta T</math> = perbedaan suhu (<math>^{\circ}C</math>)</p> <p><math>\frac{dT}{dx}</math> = gradien suhu ke arah perpindahan panas</p> <p><math>V_{oc}</math> = Tegangan (volt)</p> <p><math>V_n</math> = Tegangan Permodul (volt)</p> <p><math>W_n</math> = Daya Permodul (watt)</p>
--	--

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi ini energi menjadi kebutuhan mendasar yang memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia yang menyebabkan teknologi di dunia terkhususnya Indonesia terus mengalami perkembangan dalam segala aspek. Tahun 2017 menurut Badan Pusat Statistik (BPS) untuk peningkatan akan konsumsi energi sebanding dengan peningkatan jumlah penduduk Indonesia yaitu sebesar 261.890,90 jiwa[1]. Hal ini berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan konsumsi energi listrik di Indonesia, karena semakin bertambahnya jumlah penduduk kebutuhan akan energi akan semakin meningkat. Pada akhir tahun 2017 produksi energi listrik mencapai 262.661,38 GWh[2].

Kebutuhan konsumsi energi listrik di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil yang persediaannya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui, hal tersebut dapat membahayakan pasokan energi di Indonesia. Sehingga pemerintah harus menambah pasokan energi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang sebagian besar pembangkitan listriknya masih didominasi oleh bahan bakar fosil untuk memenuhi konsumsi energi listrik. Pasokan energi fosil ini dipenuhi dari sumber daya alam nasional yang jumlahnya kian terbatas dan akan terjadi krisis dimasa mendatang. Sehingga untuk menjaga keseimbangan pasokan energi, perlu dilakukan peralihan dari energi fosil ke energi terbarukan (*renewable energy*) dalam memenuhi kebutuhan energi domestik[3].

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi energi terbarukan (*renewable energy*) yang cukup besar. Diantara beberapa potensi energi yang banyak digunakan seperti air, uap, gas, dan nuklir. Penggunaan energi ini akan menghasilkan sejumlah energi yang terbuang dalam bentuk energi panas yang terjadi secara spontan, karena ketika terjadinya konversi energi akan menghasilkan energi panas yang terbuang begitu saja sekitar 35-40% dan tidak termanfaatkan kembali. Energi panas merupakan suatu energi yang berpindah akibat adanya perbedaan suhu[3].

Energi panas tersebut dapat kita sediakan dalam skala kecil dan dapat digunakan sebagai energi *input* untuk catu daya *harvesting* energi. *Harvesting* energi dikenal juga dengan pemanen daya atau energi *transducer* yang merupakan suatu proses dimana energi berasal dari sumber eksternal (luar) yang digunakan untuk mengubah sumber energi *input*



menjadi energi listrik. Sumber energi eksternal di lingkungan yang tersedia seperti energi surya, energi panas, energi mekanik dan energi kinetik. *Harvesting* energi menyediakan sejumlah daya kecil untuk elektronik yang berdaya rendah. Dari salah satu sumber energi eksternal yang mampu di *harvesting* yaitu energi panas. Sumber energi panas untuk karakteristik catu daya *harvesting* energi dalam bentuk *human* sebesar  $60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  dan industrial sebesar  $10 \text{mW}/\text{cm}^2$ [4]. Oleh karena itu, apabila energi panas terbuang ini dapat dimanfaatkan dan dikonversi ke dalam bentuk energi listrik, tentunya akan dapat membantu meningkatkan efisiensi dan memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat kedepannya[3].

Pada sektor industrial di Riau menggunakan sumber potensi panas yang dihasilkan dari suatu mesin-mesin pabrik, salah satunya mesin-mesin dari usaha menengah kecil (UMK) yang merupakan suatu kegiatan ekonomi yang berskala kecil dengan bidang usaha yang secara mayoritas berbentuk usaha orang perorangan yang sangat berperan penting terhadap perkembangan perekonomian. Pada tahun 2016 Riau memiliki UMK sebanyak 99.654 usaha. Di Riau memiliki beberapa kabupaten yang memiliki UMK diantaranya kabupaten Kampar sebanyak 70.447 usaha, Indragiri Hilir sebanyak 45.452 usaha, dan lainnya. Dari sekian banyak kabupaten tersebut kabupaten Kampar memiliki UMK terbanyak[5]. Dari sekian desa yang berada di kabupaten Kampar ini yang adanya terdapat UMK yaitu di desa kwalu nenas. Desa kwalu nenas merupakan suatu desa binaan yang mana pada desa ini terdapat peluang dan potensi usaha sumber ekonomi yang salah satunya terdapat *home industry* produksi keripik nenas. Sejak tahun 2000 di desa kwalu nenas tercatat sebanyak 16 *home industry* yang berproduksi. Tetapi karena penggunaan konsumsi daya listrik yang besar, terjadinya pengurangan *home industry* yang sampai sekarang hanya tercatat sebanyak 11 *home industry* berproduksi[6].

Berdasarkan wawancara yang dilakukan pada tanggal 27 Agustus 2019 di *home industry* usaha baru ibu dengan Ibu Hj. Martini, bahwa *home industry* ini menggunakan beban daya listrik yang besar dari penggunaan perangkat elektronik yang ada di *home industry*. Perangkat elektronik yang digunakan berupa lampu (bohlam) sebesar 18 watt, pompa air 300 watt, 2 mesin *vacuum frying* 800 watt, kipas angin 50 watt, kipas angin 30 watt, mesin *spinner* 250 dan *sealer* 250 watt. Pada *home industry* ini menggunakan sistem peralatan utama yaitu mesin *vacuum frying*. Mesin *vacuum frying* ini merupakan mesin yang paling besar mengkonsumsi energi listrik. Dari penggunaan listrik yang besar menyebabkan besarnya pembayaran tagihan listrik yang dikeluarkan, terutama pada mesin

*vacuum* yang mengkonsumsi energi listrik paling besar. Mesin *vacuum frying* berfungsi sebagai mesin penggorengan yang menggunakan dua sumber energi yaitu kompor (gas) dan listrik. Mesin ini menggunakan bahan bakar gas sebagai sumber untuk menggoreng dan listrik digunakan untuk menggerakkan pompa air sebagai sirkulasi air (pendingin) untuk mesin *vacuum frying*.

Mesin *vacuum frying* ini beroperasi selama 2 kali dalam durasi waktu 6 jam untuk 1 mesin. Ketika beroperasi mesin ini Menurut Ibu Hj. Martini mesin *vacuum frying* ini hanya digunakan untuk proses produksi saja, sedangkan panas yang dihasilkan terbuang begitu saja. Pada proses pengambilan data pengukuran temperatur panas pada mesin *vacuum frying* ini menggunakan suatu alat ukur yang dinamakan termokopel. Termokopel merupakan jenis sensor temperatur yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur temperatur melalui dua jenis logam konduktor. Sehingga energi panas yang didapat dari mesin *vacuum frying* yang beroperasi selama 3 jam dengan rata-rata nilai  $T_h$  sebesar 505,4 K. Berdasarkan temperatur yang tinggi dari pembuangan panas mesin *vacuum frying* ini akan dilakukan dengan mengharvesting energi dengan cara menggunakan salah satu teknologi yaitu termoelektrik generator (TEG).

TEG merupakan suatu perangkat *solid state* yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik secara langsung yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan satu dengan permukaan yang lain. TEG ini bekerja berdasarkan prinsip efek *seebeck* merupakan suatu fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan dari TEG berupa listrik DC (searah), sehingga tegangan yang dibangkitkan dapat dioptimalisasikan sebagai sumber listrik yang mana hasil keluarannya ini penggabungan secara elektrik pada susunan rangkaian seri. Prinsip ini digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik)[7]. Pada penelitian ini akan menggunakan jenis TEG tipe TEG1-24111-6.0 dengan potensi daya maksimum yang dihasilkan sebesar 17,6 watt dengan temperatur panas berkisar 300 °C[8].

Penelitian ini menggunakan standar jurnal rujukan dari penelitian[9] yang berjudul "Simulating Thermoelectric Effects with Finite Element Analysis using Comsol" penelitian ini bertujuan untuk bagaimana meningkatkan nilai keluaran TEG dan mengoptimalkan efisiensi serta daya listrik, dari TEG. Penelitian ini menggunakan simulasi perangkat lunak *comsol multiphysics*. Hasil keluaran tegangan rangkaian terbuka dan arus listrik yang dihasilkan sekitar 21 mV dan 220 mA dengan *output* daya maksimum sekitar 1.22 mW.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada penjelasan diatas peneliti akan mengkaji dengan memanfaatkan potensi panas yang dihasilkan dari mesin *vacuum frying* dengan menggunakan sistem *harvesting* energi untuk mengubah energi panas menjadi sumber energi listrik menggunakan teknologi TEG untuk memenuhi beban listrik di rumah produksi. Dengan memanfaatkan potensi panas dari mesin tersebut akan digunakan untuk menghasilkan daya listrik yang nantinya daya listrik tersebut dapat memenuhi beban listrik pada perangkat elektronik yang digunakan di *home industry* tersebut, sehingga dapat mengurangi tagihan listrik yang besar dari penggunaan perangkat elektronik tersebut. Untuk menghasilkan daya listrik pada modul TEG dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum* langkah awal yang dilakukan dengan mengambil data primer meliputi data temperatur panas mesin *vacuum frying* yang diukur menggunakan alat termokopel, dari data temperatur mesin yang didapat akan dipilih spesifikasi TEG yang sesuai dan mencari sifat material TEG. Pada perhitungan potensi awal yang didapatkan berupa perhitungan nilai *seebeck* dari TEG sebesar  $5,203 \times 10^{-4} \text{V/K}$  sehingga menghasilkan *electrical potential* sebesar 0,1 volt.

Setelah didapatkan data temperatur panas dari mesin *vacuum frying* dan data spesifikasi TEG, kemudian akan di analisis dengan menggunakan *tools software comsol multiphysics 5.3a* untuk menganalisis potensi keluaran dari TEG. *Comsol multiphysics* merupakan suatu piranti yang digunakan untuk pemodelan dan pemecahan dari semua jenis masalah berdasarkan pada persamaan *differensial parsial* (PDEs). Dalam menyelesaikan tahap simulasi ini dilakukan dengan menginputkan parameter dari temperatur mesin *vacuum* tersebut untuk mendapatkan nilai keluaran berupa arus dan tegangan. Setelah menganalisis keluaran dari TEG, akan dilakukan analisis kelayakan untuk mencari kelayakan suatu proyek penelitian. Dari analisis kelayakan ini hanya dilakukan dua aspek yaitu aspek teknis dan ekonomis (biaya).

Analisis kelayakan aspek teknis akan dikatakan layak apabila penelitian ini mampu memenuhi profil beban yang ada di *home industry* tersebut. Dari hasil *output* tersebut akan didapatkan untuk analisis teknisnya berupa daya listrik yang dihasilkan TEG, efisiensi dari TEG, kapasitas pembangkitan listrik modul TEG, dan penggunaan daya modul TEG dapat memenuhi profil beban daya listrik. Dari segi aspek ekonomis, peneliti akan menganalisis biaya yang mana terdiri dari biaya investasi awal yaitu biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan, biaya operasional yaitu biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan, biaya perawatan yaitu biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga atau menjamin performansi suatu sistem, biaya *annual*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

benefit, *Payback period* (PBP) merupakan teknik penilaian untuk mengetahui seberapa lama jangka waktu (periode) yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi dari suatu proyek atau usaha[10].

Dengan demikian berdasarkan penelitian diatas, maka penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “**Analisis Teknis dan Ekonomis Generator Termoelektrik (TEG) Dengan Memanfaatkan Panas Mesin *Vacuum Frying* Sebagai *Harvesting* Energi Listrik (Studi Kasus : Desa Kualu Nenas)**”.

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini berupa :

1. Bagaimana menganalisis potensi energi panas yang dihasilkan dari mesin *vacuum frying* sebagai *harvesting* energi listrik?
2. Bagaimana menganalisis aspek teknis dari termoelektrik generator (TEG) dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* sebagai *harvesting* energi listrik?
3. Bagaimana menganalisis ekonomi dari aspek biaya termoelektrik generator (TEG) dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* sebagai *harvesting* energi listrik?
4. Apakah energi yang dihasilkan dari termoelektrik generator (TEG) mampu memenuhi beban daya listrik yang ada di *home industry* usaha baru ibu?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisis potensi energi panas yang dihasilkan dari mesin *vacuum frying* sebagai *harvesting* energi listrik
2. Menganalisis aspek teknis dari termoelektrik generator (TEG) dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* sebagai *harvesting* energi listrik
3. Menganalisis ekonomi aspek biaya dari termoelektrik generator (TEG) dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* sebagai *harvesting* energi listrik
4. Menganalisis apakah energi yang dihasilkan dari termoelektrik generator (TEG) mampu memenuhi beban daya listrik yang ada di *home industry* usaha baru ibu

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak melebar dari pembahasan, maka penulis akan membatasi permasalahannya. Adapun batasan masalahnya sebagai berikut :

1. Potensi panas yang akan dimanfaatkan berasal dari panas mesin *vacuum frying* pada pembuatan produksi keripik nenas di desa kualu nenas.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
UIN Suska Riau  
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Salah satu Industri rumahan (*home industry*) yang akan diteliti yaitu usaha baru ibu.
4. Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur yaitu termokopel.
5. Pada penelitian ini simulasi distribusi panas pada termoelektrik generator (TEG) dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* hanya menggunakan *tools* yang disediakan oleh *software comsol multiphysics 5.3a*.
6. Pada saat menjalankan simulasi dalam keadaan *steady state*.
7. Untuk temperatur dingin ( $T_{cold}$ ) di asumsikan sebesar 30 °C.
8. Pengambilan data temperatur dari mesin *vacuum* berupa data panas saat mesin sedang beroperasi.
9. Pada analisis ekonomi hanya dengan menganalisis biaya investasi suatu proyek yang meliputi biaya investasi awal, biaya *operational and maintenance*, biaya *annual benefit*, dan *payback period* (PBP).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini :

1. Secara akademis penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca untuk penambahan referensi yang berkaitan dengan teknologi termoelektrik generator (TEG) dengan memanfaatkan panas dari mesin *vacuum frying* sebagai sumber energi terbarukan.
2. Penelitian ini diharapkan agar bermanfaat bagi masyarakat dan pemerintah agar dapat memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* sebagai sumber energi listrik.
3. Diharapkan agar pemerintah dan masyarakat mampu membuat pembangkit listrik dari termoelektrik menggunakan energi panas mesin *vacuum frying* untuk mengurangi biaya per *watt* perangkat.
4. Ikut berpartisipasi selain melakukan pengolahan produksi keripik nenas, dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* sebagai sumber energi listrik salah satunya dalam skala kecil untuk beban listrik pada *home industry*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Sebelum melakukan penelitian ini, dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mencari rujukan dan referensi dari penelitian yang berhubungan khusus atau permasalahan yang akan di selesaikan dari tugas akhir, artikel, dan jurnal yang berkaitan. Rujukan ini didapatkan dari jurnal, buku ataupun *paper* yang berhubungan dengan penelitian ini.

Penelitian[7] yang berjudul “Pemanfaatan Panas Pada Kompor Gas LPG Untuk Pembangkitan energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik”, penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk menghasilkan tegangan dan arus listrik yang lebih besar dengan menggunakan perbandingan penggunaan jenis TEG yang berbeda yaitu TEG tipe 126-40A dengan TEG 127-40A untuk kedua jenis tipe kompor gas LPG. Penelitian ini memanfaatkan panas kompor LPG RI-511A dan RI-300HP menggunakan TEG yang berbedan panas yang dimanfaatkan dikonversi menjadi energi listrik. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan dan arus yang dihasilkan oleh TEG126 - 40A lebih baik daripada TEG127 - 40A. Kompor LPG RI-551A menggunakan TEG127-40A, tegangan dan arus masing-masing mencapai 2,69 V dan 0,12. Hasil ini lebih kecil daripada menggunakan TEG126-40A V yang mencapai 3,59 V dan 0,34 A. Sedangkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh TEG127-40A pada RI-300HP mencapai 3,77 V dan 0,39 A masing-masing, tetapi masih lebih kecil dari yang menggunakan TEG126-40A yang mencapai 4,17 V dan 0,48 A.

Pada penelitian[9] yang berjudul “*Simulating Thermoelectric Effects with Finite Element Analysis using COMSOL*” penelitian ini bertujuan untuk bagaimana meningkatkan nilai keluaran TEG dan mengoptimalkan efisiensi serta daya listrik, dari TEG. Metode yang digunakan simulasi menggunakan perangkat lunak *comsol multiphysics*. Hasil keluaran tegangan rangkaian terbuka dan arus listrik yang dihasilkan sekitar 21 mV dan 220 mA dengan *output* daya maksimum sekitar 1.22 mW.

Penelitian[11] yang berjudul “Pemanfaatan Sumber Panas Pada Kompor Menggunakan 10 Generator Termoelektrik Dirangkai Secara Seri Untuk Aplikasi Lampu Penerangan”, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sumber energi listrik lampu penerangan dengan memanfaatkan sumber panas pada kompor dengan menggunakan 10 modul TEG. Pada TEG menggunakan kompor sebagai media pemanfaatan panas yang

dibutuhkan, hal ini membutuhkan 10 generator termoelektrik jenis TEG-SP 1848-27145 SA yang disusun seri dengan variasi media pembakaran berupa kayu bakar, gas LPG dan spiritus. Penggunaan media pembakaran yang berbeda mempengaruhi nilai *output* tegangan yang diberikan oleh termoelektrik. Sehingga tegangan optimal yang diberikan menggunakan bahan bakar gas LPG dengan  $\Delta T$  sekitar  $39^{\circ}\text{C}$  menghasilkan nilai *output* tegangan sebesar 1.62 Volt.

Penelitian[12] yang berjudul “Optimasi Suhu dan Waktu Penggorengan Hampa (*Vacuum Frying*) Keripik Talas (*Colacasia Esculenta*)”, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh suhu dan waktu penggorengan terhadap karakteristik fisikokimia keripik talas. Dengan menentukan suhu dan waktu penggorengan yang terbaik dalam pembuatan keripik talas dengan menggunakan penggorengan hampa dan menentukan biaya produksi keripik talas. Untuk melakukan penggorengan talas menghasilkan suhu yang berbeda rata-rata temperaturnya yaitu  $102^{\circ}\text{C}$ ,  $107^{\circ}\text{C}$ ,  $112^{\circ}\text{C}$  dan waktu penggorengan 25, 30, 35 menit. Perlakuan suhu dan waktu berpengaruh nyata terhadap sifat fisikokimia seperti kadar air, kadar pati, kekerasan dan warna. Suhu dan waktu yang terbaik untuk penggorengan keripik talas adalah  $112^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit.

Penelitian[13] yang berjudul “Uji Kinerja Alat Penggoreng Vakum Yang Diaplikasi Pada Buah Nangka (*Artocarpus Integra*)”, penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui kinerja dari alat mesin penggoreng vakum. Data pengamatan yang diperoleh dianalisis secara deskriptif. Mesin penggoreng vakum memiliki kapasitas 2500 g buah nangka dengan waktu penggorengan selama 39 menit dan rendemen yang dihasilkan sebesar 29,60%. Keripik nangka yang dihasilkan memiliki kandungan kadar air sebesar 2,97%, kandungan kadar lemak sebesar 16,03%, kandungan kadar abu sebesar 1,34%, serta cemaran logam dan cemaran mikroba yang memenuhi syarat SNI. Keripik nangka memiliki bau dan rasa normal, tekstur renyah, warna kuning keoklatan dan keutuhan 98%. Keripik nangka yang dihasilkan memenuhi syarat mutu standar nasional Indonesia (SNI) No. 01-4269-1996.

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas, penelitian[7] dan [11] telah menunjukkan bahwa penelitian tersebut memanfaatkan sumber potensi panas dengan menggunakan mode TEG untuk mengkonversi panas menjadi energi listrik, akan tetapi penelitian ini masih dalam skala eksperimen langsung untuk mengubah panas tersebut menjadi sumber alternatif untuk penerangan lampu. Sedangkan untuk penelitian[12] dan [13] merupakan penelitian uji kinerja langsung dari alat *vacuum* sebagai alat produksi.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian[9]. Pada penelitian ini sistem TEG akan menggunakan metode simulasi *tools software comsol multiphysics 5.3a*. Kelembutan dari penelitian ini adalah untuk mencari kelayakan dari suatu proyek penelitian yang akan dilakukan. Dengan menginputkan data temperatur panas dari mesin *vacuum frying* dan spesifikasi TEG ke dalam *comsol* untuk mendapatkan potensi keluaran TEG berupa tegangan dan arus. Hasil potensi keluaran tersebut akan dihitung berapa nilai daya listrik dari TEG yang mampu untuk memenuhi beban listrik di rumah produksi.

Penelitian ini juga menganalisis kelayakan berdasarkan analisis teknis dan analisis ekonomis. Dari segi aspek teknis peneliti akan menganalisis potensi keluaran TEG berupa tegangan dan arus. Hasil potensi keluaran TEG akan digunakan untuk menghitung daya listrik yang akan dibangkitkan, efisiensi dari TEG, dan energi yang dihasilkan dari TEG mampu memenuhi beban daya listrik

Dari segi aspek ekonomis, peneliti akan menganalisis biaya yang mana terdiri dari biaya investasi awal yaitu biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan, biaya operasional yaitu biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan, biaya perawatan yaitu biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga atau menjamin performansi suatu sistem, biaya *annual benefit*, *Payback period* (PBP) merupakan teknik penilaian untuk mengetahui seberapa lama jangka waktu (periode) yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi dari suatu proyek atau usaha.

## 2.2 Profil Desa Kualu Nenas

Dalam penelitian ini penulis melakukan suatu studi kasus di sebuah daerah yang berada di Kampar tepatnya di desa kualu nenas. Berikut penjelasan di desa kualu nenas.

### 2.2.1 Sejarah Desa Kualu Nenas

Desa kualu nenas adalah desa pemekaran dari desa tambang, embrionya adalah dusun VII kualu desa tambang kecamatan tambang, pada tahun 2001 atas prakarsa masyarakat dusun VII Kualu yang berkeinginan untuk mekar dari desa dambang menjadi desa defenitif. Pada tahun 2001 adalah puncak perjuangan masyarakat dusun VII kualu yang telah berhasil memperjuangkan desa persiapan kualu nenas yang di sahkan oleh keputusan Bupati Kampar Syawir Hamid nomor : 213/Tahun 2001 tanggal 22 Oktober 2001[9].

### 2.2.2 Potensi di Desa Kualu Nenas

Desa kualu nenas adalah desa yang subur dan cocok untuk semua komoditi tanaman dan perkebunan Desa kualu nenas kaya dengan sumber daya alam, seperti : karet,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



sawit, coklat (kakao), nangka dan nenas. Salah satu komoditi unggulan kwalu nenas yang mengharumkan nama baik desa kwalu nenas di tingkat Kabupaten, Provinsi sampai ke mancanegara adalah komoditi nenas. Maka saat ini kebun nenas yang produktif lebih kurang 1000 Ha dengan jumlah produksi nenas segar hampir 4 ton perhari. Seiring dengan perkembangan zaman buah nenas segar ini sudah bisa di olah menjadi keripik nenas, wajik nenas, dodol nenas, dan manisan nenas. Selain nenas masyarakat desa kwalu nenas juga mengolah nangka menjadi keripik nangka, dan sekarang desa kwalu nenas bukan terkenal saja dengan keripik nenas namun juga terkenal dengan keripik nangka. Saat ini sudah banyak industri rumah tangga (*Home Industry*) yang berkembang di desa kwalu nenas[6].

### 2.3 Mesin *Vacuum Frying*

Mesin *vacuum frying* merupakan suatu mesin produksi untuk menggoreng berbagai macam buah dan sayuran dengan cara penggorengan *vacuum*. Teknik penggorengan *vacuum* yaitu menggoreng bahan baku (biasanya buah-buahan atau sayuran) dengan menurunkan tekanan udara pada ruang penggorengan sehingga menurunkan titik didih air sampai 50°C - 60°C. Dengan turunnya titik didih air maka bahan baku yang biasanya mengalami kerusakan atau perubahan pada titik didih normal 100°C bisa dihindari. Teknik penggorengan *vacuum* ini akan menghasilkan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan cara penggorengan biasa[14].



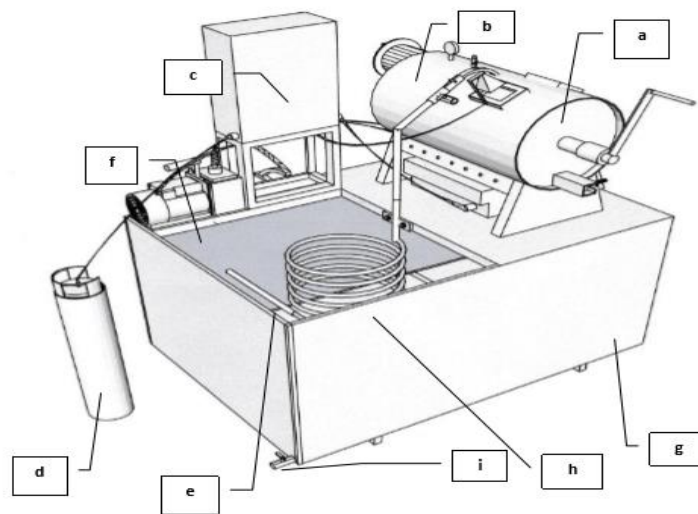
Gambar 2.1 Mesin *Vacuum Frying*  
(Mesin Penggorengan Hampa dan Peniris Minyak)[14]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 8. Alat Penggoreng Vakum.

- Keterangan :
- a. Tabung Penggoreng
  - b. Keranjang Penggoreng
  - c. Panel Listrik
  - d. Unit Pemanas LPG
  - e. Unit Bak Penampung Air
  - f. Pompa Vakum
  - g. Kerangka Dudukan
  - h. Kondensor

Gambar 2.2 Kerangka Mesin *Vacuum Frying*[12]

Keterangan gambar :

1. Pompa *vacuum water jet* berfungsi sebagai penghisap di dalam ruang penggoreng sehingga tekanan menjadi rendah, serta untuk menghisap uap air dari bahan yang digoreng.
2. Tabung Penggoreng
 

Tabung penggoreng berfungsi untuk menampung minyak goreng dan tempat melekatnya komponen-komponen lain dengan dilengkapi kerangka yang kokoh serta mengkondisikan bahan sesuai tekanan yang diinginkan. Didalam tabung dilengkapi keranjang buah setengah lingkaran. Tabung penggoreng ini tepat berada di atas kompor pemanas yang terbuat dari *stainless steel* yang berukuran panjang 70 cm diameter 40 cm. Bahan *stainless steel* ini digunakan untuk menghindari terjadinya karat sehingga minyak goreng tidak terkontaminasi. Ada beberapa komponen bagian pada tabung ini diantaranya keranjang penggoreng, manometer untuk melihat tekanan ke vakuman dalam tabung (tekanan 76 cmHg = 1 atm), *stop kran*, tuas atau engkol yang berfungsi sebagai pemutar keranjang penggoreng, kaca pengintai, serta lampu *on* atau *off* sebagai penerang ke dalam tabung penggoreng.

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Unit bak air sebagai tempat sumber dan penyediaan air bagi pompa vakum untuk menciptakan ke vakuman. Bak penampung air terdapat kran pengeluaran air, pompa vakum dan kondensor. Kondensor yang berfungsi untuk mengembunkan uap air serta sebagai pendingin.
4. Unit pemanas, bahan bakar pemanas menggunakan kompor gas LPG yang berfungsi sebagai sumber panas pada proses penggorengan vakum. Unit pemanas ini dilengkapi dengan selang yang tersambung dengan tabung gas LPG, serta dilengkapi sensor dan panel listrik.
5. Unit pengendali operasi (panel kontrol) berfungsi untuk mengaktifkan alat *vacuum* dan unit pemanas.
6. Bagian pengaduk penggorengan berfungsi untuk mengaduk buah yang berada dalam tabung penggorengan.
7. Mesin peniris minyak (*spinner*) berfungsi untuk meniriskan kandungan minyak keripik yang sudah jadi[12].

Mesin penggorengan hampa bekerja dengan menggunakan prinsip *Bernoulli* (konsep dasar aliran fluida atau zat cair dan gas), dimana semburan air dari pompa yang dilalui pipa menghasilkan efek sedotan (hampa). Dengan menggunakan 7 atau 8 *nosel*, pipa khusus penghisap sehingga tekanan di dalam tabung penggorengan turun hingga 7.52 cmHg. Pada tekanan 7.52 cmHg titik didih air akan turun menjadi 45,8°C. Air di dalam tabung penggoreng selanjutnya didinginkan di kondensor dengan sirkulasi air pendingin. Setelah dingin air dimasukkan ke dalam bak air sedangkan uap air yang telah mengalami kondensi ditampung di penampungan kondensat[14].

Prinsip kerja *vacuum frying* adalah menghisap kadar air dalam sayuran dan buah dengan kecepatan tinggi agar pori-pori daging. buah-sayur tidak cepat menutup, sehingga kadar air dalam buah dapat diserap dengan sempurna. Prinsip kerja dengan mengatur keseimbangan suhu dan tekanan vakum. Faktor – faktor yang mempengaruhi mutu akhir produk yang digoreng adalah kualitas bahan yang digoreng, kualitas minyak goreng, jenis alat penggorengan dan sistem kemasan produk akhir. Pada alat penggoreng *vacuum* ini uap air yang terjadi sewaktu proses penggorengan disedot oleh pompa. Setelah melalui kondensor uap air mengembun dan kondensat yang terjadi dapat dikeluarkan. Sirkulasi air pendingin pada kondensor dihidupkan sewaktu proses penggorengan[14].

## 2.4 Termokopel

### 2.4.1 Pengertian Termokopel

Berasal dari kata “*thermo*” yang berarti panas “*couple*” yang berarti pertemuan dari dua buah benda. Termokopel adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*thermo-electric*”. Efek *thermoelectric* pada termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara *gradient* akan menghasilkan tegangan listrik. perbedaan tegangan listrik diantara dua persimpangan (*junction*) ini dinamakan dengan efek *seebeck*. Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan elektronika yang berkaitan dengan temperatur. Beberapa kelebihan termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200 °C hingga 2000 °C. Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan atau getaran dan mudah digunakan[15].

### 2.4.2 Prinsip Kerja Termokopel

Prinsip kerja termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap), sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas[15].

### 2.4.3 Jenis-jenis Termokopel

Termokopel tersedia dalam berbagai ragam rentang suhu dan jenis bahan. Pada dasarnya, gabungan jenis-jenis logam konduktor yang berbeda akan menghasilkan rentang suhu operasional yang berbeda pula. Berikut ini adalah Jenis-jenis atau tipe termokopel yang umum digunakan berdasarkan standar internasional[15].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Jenis-jenis Termokopel[15]

Adapun jenis-jenis termokopel antara lain sebagai berikut :

1. Termokopel Tipe E  
 Bahan Logam Konduktor Positif : *Nickel-Chromium*  
 Bahan Logam Konduktor Negatif : *Constantan*  
 Rentang Suhu : -200 °C – 900 °C
2. Termokopel Tipe J  
 Bahan Logam Konduktor Positif : *Iron (Besi)*  
 Bahan Logam Konduktor Negatif : *Constantan*  
 Rentang Suhu : 0 °C– 750 °C
3. Termokopel Tipe K  
 Bahan Logam Konduktor Positif : *Nickel-Chromium*  
 Bahan Logam Konduktor Negatif : *Nickel-Aluminium*  
 Rentang Suhu : -200 °C– 1250 °C
4. Termokopel Tipe N  
 Bahan Logam Konduktor Positif : *Nicrosil*  
 Bahan Logam Konduktor Negatif : *Nisil*  
 Rentang Suhu : 0 °C– 1250 °C
5. Termokopel Tipe T  
 Bahan Logam Konduktor Positif : *Copper (Tembaga)*  
 Bahan Logam Konduktor Negatif : *Constantan*  
 Rentang Suhu : -200 °C – 350 °C
6. Termokopel Tipe U (Kompensasi Tipe S dan Tipe R)  
 Bahan Logam Konduktor Positif : *Copper (Tembaga)*  
 Bahan Logam Konduktor Negatif : *Copper-Nickel* Rentang Suhu : 0 °C – 1450 °C[15].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## 2.5 Harvesting Energi

*Harvesting* energi atau lebih dikenal sebagai *harvesting power* atau energi *transducer* yang pengambilan proses energinya berasal dari sumber eksternal. *Harvesting* energi merupakan suatu proses dimana energi dari berbagai macam sumber yang ada di lingkungan ditangkap dan di panen. Sistem *harvesting* energi ini dapat diaplikasikan untuk catudaya bagi perangkat berkebutuhan daya rendah. *Harvesting* energi yang bertujuan untuk memasok energi listrik ke sistem listrik dari satu sumber energi yang ada di lingkungan secara langsung seperti energi panas yang dapat di konversi menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi TEG yang dianggap sebagai teknologi yang sangat alternatif dan ramah lingkungan[4].

### 2.5.1 Energi Input

Energi *input* pada penerapan sistem *harvesting* energi menentukan sumber energi mana yang tersedia di lingkungan untuk menyalakannya. Sumber energi lingkungan utama yang digunakan untuk memasok daya seperti energi surya, energi termal, energi mekanik, dan energi kinetik. Panas dapat digunakan sebagai energi *input* untuk catu daya *harvesting* energi dimana terdapat gradien suhu dan aliran panas. Energi panas dicirikan oleh gradien suhu dan aliran panas, yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan TEG yang secara mendasar didasarkan pada efek *seebeck*. Jenis energi ini ada, misalnya dalam permesinan (industri) dan dalam tubuh manusia. Gradien suhu sebagian besar diperoleh antara sumber panas dan suhu kamar[4].

Berikut terlihat pada tabel 2.1 karakteristik catu daya *harvesting* energi[4].

Tabel 2.1 Karakteristik catu daya *harvesting* energi

<i>Energy Source</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Efficiency</i>	<i>Harvested Power</i>
<i>Light</i>	<i>Outdoor</i>	10-25%	100 mW/cm <sup>2</sup>
	<i>Indoor</i>		100 μW/cm <sup>2</sup>
<i>Thermal</i>	<i>Human</i>	~0.1%	60 μW/cm <sup>2</sup>
	<i>Industrial</i>	~3%	10 mW/cm <sup>2</sup>
<i>Vibration</i>	~Hz-human	25-50%	40 μW/cm <sup>2</sup>
	~kHz-machines		800 μW/cm <sup>2</sup>
<i>Radio frequency (RF)</i>	GSM 900 Mhz	~50%	0.1 μW/cm <sup>2</sup>
	WiFi 2.4 Ghz		0.001 μW/cm <sup>2</sup>

Beberapa karakteristik dan kinerja sumber energi terbarukan yang tersedia di kondisi lingkungan luar sangat berbeda dari yang ditemukan di lingkungan industri dan

komersial dalam ruangan tertutup seperti kantor, rumah sakit, pabrik dan lainnya. Sumber energi umumnya dihasilkan oleh beberapa cara buatan. Berikut tabel 2.2 yang menunjukkan ringkasan sumber energi dalam dan luar ruangan beserta karakteristiknya.

Tabel 2.2 Kinerja *harvesting* energi dalam kondisi dalam ruangan[16].

Harvesting Energi	Power Densities	
	Indoor condition	Outdoor condition
Solar Panel	100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ @10 W/cm <sup>2</sup>	10 mW/cm <sup>2</sup> @STC
Wind turbine generator	35 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ @<1 m/s	3.5 mW/cm <sup>2</sup> @8.4 m/s
Thermoelectric generator	100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ @5 °C gradient	3.5 mW/cm <sup>2</sup> @30 °C gradient
Electromagnetic generator	4 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ @human motion-Hz 800 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ @machine-kHz	

## 2.6 Perpindahan Panas

Perpindahan panas dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam suatu industri proses. Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi akibat adanya perbedaan temperatur pada suatu permukaan dengan lingkungan sekitarnya. Perpindahan panas terjadi dengan tiga cara, yaitu: konduksi, konveksi, dan radiasi[17].

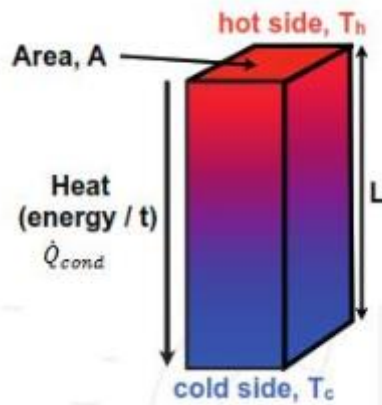
### 2.6.1 Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan suatu perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat, atau pada media fluida yang diam tanpa disertai perpindahan partikel. Perpindahan panas konduksi terjadi akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain. Perpindahan panas secara konduksi dikenal juga sebagai efek *fourier* karena menggunakan fenomena dari Hukum *Fourier* tentang perpindahan panas secara konduksi satu dimensi [17]. Berikut mekanisme konduksi pada Gambar 2.4.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.4 Mekanisme Konduksi [17]

Berikut persamaan laju perpindahan panas konduksi biasa disebut dengan persamaan Hukum *Fourier* dituliskan sebagai berikut[17]:

$$Q_{\text{kond}} = \frac{kA\Delta T}{L} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Dimana :

$Q_{\text{kond}}$  = laju perpindahan panas (W)

$k$  = konduktivitas termal (W/mK)

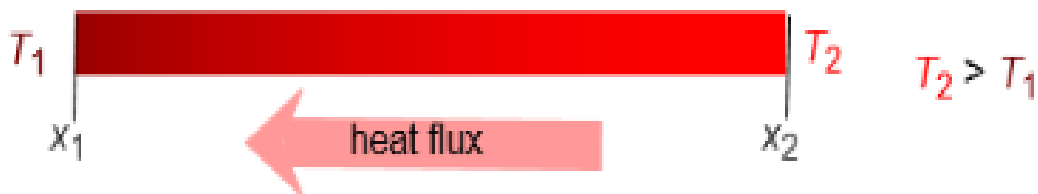
$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$L$  =  $\Delta x$  = ketebalan (m)

$\Delta T$  = perbedaan suhu ( $^{\circ}C$ )

$\frac{dT}{dx}$  = gradien suhu ke arah perpindahan panas

Rumus dari perpindahan panas secara konduksi sama dengan konduktivitas termal. Konduktivitas termal menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan panas. Pada persamaan (2.1) berlaku untuk aliran panas yang *steady state* dimana fluks panas tidak berubah terhadap waktu. aliran panas dari suatu daerah panas dengan temperatur  $T_2$  menuju daerah yang dingin dengan temperatur  $T_1$  dengan nilai  $T_2 > T_1$  adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Aliran Panas Daerah Menuju Daerah Dingin [17]



Panas yang mengalir dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Peristiwa tersebut disebabkan oleh adanya getaran atom dan elektron bebas yang membawa energi dari daerah panas ke daerah yang dingin [17].

### 2.6.2 Konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan panas dengan kerja gabungan pada permukaan padat terhadap cairan atau gas yang bergerak. Jika fluida (cair atau gas) yang bergerak naik karna adanya gaya dari luar disebut konveksi paksa. Sebaliknya jika gerakan fluida yang terjadi disebabkan oleh perbedaan massa jenis dan perbedaan temperatur sehingga fluida yang suhunya lebih tinggi menjadi lebih ringan, akibatnya fluida akan mengalir sendiri. Aliran fluida yang timbul akan mengakibatkan perpindahan panas dan sebaliknya perpindahan panas akan mengakibatkan aliran fluida ini yang disebut konveksi alami [17].

### 2.6.3 Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan energi panas dari satu media ke media lain akibat perbedaan temperatur tanpa memerlukan media perantara dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Peristiwa radiasi akan lebih efektif terjadi pada ruang hampa, berbeda dari perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mengharuskan adanya media perpindahan panas [17].

## 2.7 Dasar Termoelektrik

Termoelektrik merupakan fenomena dengan mengkonversikan dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau dari energi listrik berubah menjadi beda temperatur. Fenomena ini telah dikembangkan menjadi menjadi suatu modul sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau perangkat pendingin/pemanas. Termoelektrik adalah proses konversi langsung, sebuah perangkat modul termoelektrik menghasilkan tegangan ketika ada suhu yang berbeda di setiap sisi. Sebaliknya, bila termoelektrik diberi tegangan listrik, akan menciptakan perbedaan suhu [19]. Berikut gambar struktur pembangkit daya pada termoelektrik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.6 Struktur Pembangkit Daya Termoelektrik[18]

Termoelektrik merupakan teknologi yang digunakan sebagai pembangkit listrik maupun pendingin udara. Generator listrik teknologi termoelektrik dapat mengubah energi termal/panas menjadi energi listrik secara langsung. Meskipun efisiensinya sekitar 5-10%. Teknologi ini menggunakan efek *seebeck* dan *peltier*. Dasar termoelektrik dirujuk ke teori termoelemen. Termoelemen terbentuk dari semikonduktor tipe p dan n yang menyambung secara seri sebagai listrik. Kemudian, sejumlah besar termoelemen dihubungkan secara elektrik secara seri untuk meningkatkan tegangan operasi dan terhubung secara termal secara paralel untuk meningkatkan konduktivitas termal[18].

### 2.7.1 Efek Termoelektrik

Termoelektrik generator didasarkan pada tiga efek termoelektrik yaitu efek *seebeck*, efek *peltier* dan efek *Thomson*. Efek *seebeck* digunakan untuk pembangkit listrik dan efek *peltier* digunakan untuk tujuan pemanasan dan pendinginan.

#### 2.7.1.1 Efek Seebeck

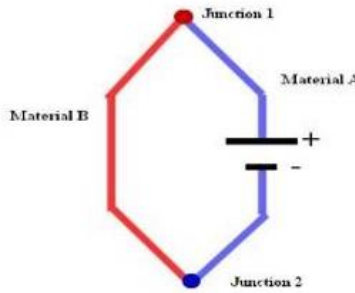
Pada tahun 1823 seorang fisikawan Jerman bernama Thomas Johan *Seebeck* yang melakukan suatu eksperimen dengan menggunakan dua material logam yang berbeda yaitu tembaga dan besi. *Seebeck* generator merupakan suatu perangkat dari generator listrik yang mengkonversi panas secara langsung yang ditimbulkan dari akibat perbedaan suhu dari dua buah material logam yang berbeda diubah menjadi energi listrik[18].

Penyebab efek *seebeck* adalah karena elektron dari energi bebas meningkat dengan meningkatnya suhu dalam termoelektrik. Jika diantara besi dan tembaga tersebut dipanaskan dan diletakkan sebuah jarum kompas, maka kompas tersebut akan bergerak. Hal itu terjadi karena adanya aliran listrik yang dihasilkan pada logam tersebut dan akan menimbulkan medan magnet. Medan magnet lah yang menggerakkan jarum kompas. Fenomena tersebut dikenal dengan efek *seebeck*. Semakin besar koefisien *seebeck* ini,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

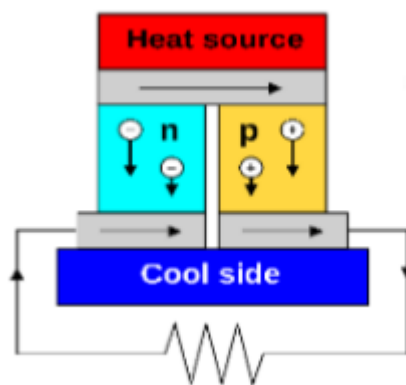
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan *thermocouple*[18].



Gambar 2.7 Diagram Efek *Seebeck* [18]

Bila suatu rangkaian terdiri dari dua buah logam yang tidak sejenis dan temperatur pada sambungan dari kedua kawat tersebut berbeda maka akan ada arus listrik. Tegangan yang dihasilkan ini sebanding dengan perbedaan temperatur diantara dua junction. Semakin besar perbedaan temperatur, semakin besar tegangan diantara *junction*. Perbedaan kerapatan pembawa muatan akan menimbulkan difusi elektron dari daerah rapatan muatan yang tinggi ke daerah rapatan muatan yang rendah dan temperatur tinggi ke temperatur rendah. Hal ini disebabkan karena kepadatan elektron dari material logam yang berbeda. Inilah yang menyebabkan arus mengalir berlawanan dan menimbulkan tegangan (EMF) yang disebut dengan fenomena termoelektrik[18].



Gambar 2.8 Skema Efek *Seebeck*[18]

Prinsipnya efek *seebeck* yang menggunakan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin TEG akan digunakan untuk mengubah panas buangan dari sumber energi yang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ada lingkungan menjadi energi listrik oleh TEG[17]. Berikut rumus menghitung koefisien *seebeck*[18].

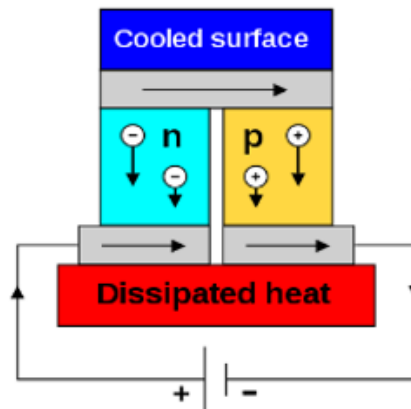
$$V_{oc} = \alpha \times (T_h - T_c) \tag{2.2}$$

Dimana :

- $V_{oc}$  = Tegangan (volt)
- $\alpha$  = Koefisien *Seebeck* (V/K)
- $T_h$  = Temperatur *Hot* (°C)
- $T_c$  = Temperatur *Cold* (°C)

2.7.1.2 Efek *Peltier*

Efek *peltier* mengkonversikan energi listrik menjadi perubahan suhu. Prinsip kerja Efek *peltier* merupakan kebalikan dari efek *seebeck*, dimana energi panas diserap pada satu sambungan konduktor dan dilepaskan pada sambungan konduktor lainnya ketika arus listrik dialirkan pada suatu rangkaian tertutup. Terlihat pada gambar berikut[18]:



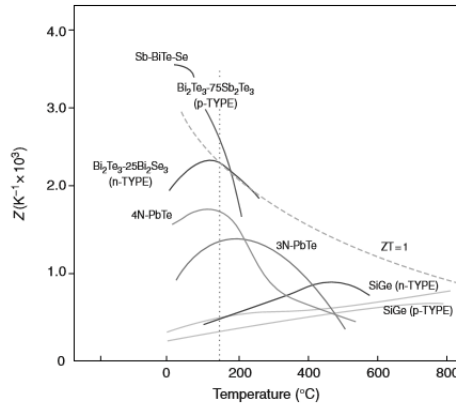
Gambar 2.9 Skema Efek *Peltier*[18]

2.7.2 Bahan Material Termoelektrik Generator (TEG)

Diantara sejumlah besar bahan yang dikenal hingga saat ini, hanya sedikit yang diidentifikasi sebagai bahan TE. Bahan material TE dapat dikategorikan ke dalam bahan konvensional dan baru. Sebagian besar bahan semikonduktor TEG yang banyak digunakan yaitu *bismuth telluride* ( $Bi_2Te_3$ ), *lead telluride* (PbTe), dan paduan *silicon germanium* (SiGe). *Bismuth* (Bi) dalam kombinasi dengan *antimony* (An), *tellurium* (Te), dan selenium (Se) merupakan bahan yang bersuhu rendah. *Lead* (Pb) yang dikombinasi dengan tellurium (Te) sebagai bahan yang berkisaran suhu menengah, sedangkan termoelemen yang dibuat pada suhu tertinggi yaitu dari perpaduan antara germanium dan silikon[19].

Tabel 2.3 Bahan Material Termoelektrik Generator (TEG)[19]

No	Bahan Material	Range Temperatur
1	<i>Silicon dan Germanium</i>	>1300 K
2	<i>Lead Telluride</i>	700 K – 850 K
3	<i>Bismuth Telluride</i>	150 K – 450 K



Gambar 2.10 Kinerja Bahan Termoelektrik[19]

Setiap bahan memiliki kisaran suhu operasi yang berguna dan angka kelayakan masing-masing bahan sangat berbeda. Untuk bahan material generator termoelektrik harus memiliki nilai koefisien *seebeck* yang besar untuk memaksimalkan potensi listrik dan konduktivitas termal yang rendah ( $k$ ) untuk menahan panas dan resistansi listrik yang rendah yaitu konduktivitas listrik yang tinggi untuk meminimalkan kerugian *ohmic*[18].

### 2.7.3 Sifat Material dari Modul Termoelektrik Generator (TEG)

Bahan termoelektrik menghasilkan daya listrik langsung dari panas dengan konversi gradien suhu menjadi tegangan listrik. Untuk keperluan pembangkitan listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe n dan tipe p. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik. Terdapat tiga sifat *properties* bahan termoelektrik yang penting, yaitu koefisien *seebeck* yang tinggi, konduktivitas termal (*thermal conductivity*) yang rendah, dan konduktivitas listrik (*electrical conductivity*) yang tinggi. Berbagai bahan termoelektrik telah disintesis dan dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir. Bahan termoelektrik kecil, sangat mahal, dan tersedia secara komersial[19]. Berikut gambar skematik ketergantungan dari sifat bahan material TEG.

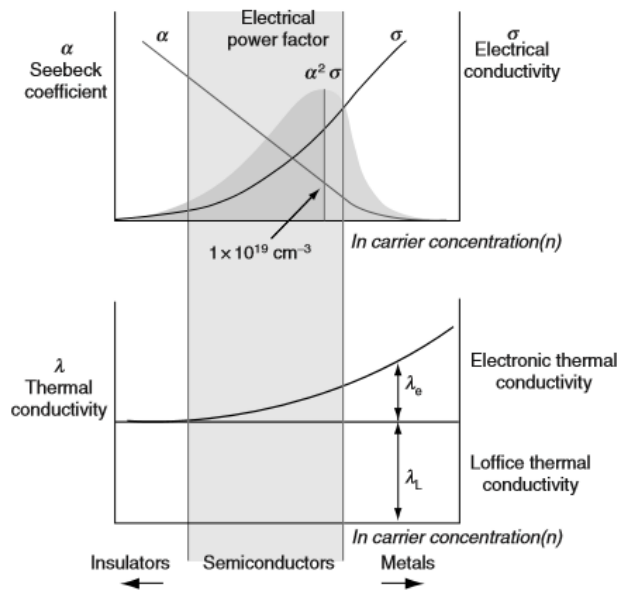
Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.11 Skematis dari sifat bahan material Termoelektrik Generator (TEG)[19]

### 2.7.3.1 Koefisien Seebeck

Koefisien *seebeck* merupakan besaran non-linier sebagai fungsi dari temperatur dan bergantung pada bahan dan stuktur molekul material. Tanda positif dan negatif dari koefisien *seebeck* dipengaruhi oleh muatan pembawanya. Koefisien *seebeck* menjelaskan bahwa pada saat termokopel dipanaskan, kondisi semikonduktor yang terisi banyak elektron koefisien *seebeck*nya bertanda negatif. Sedangkan semikonduktor yang kekurangan elektron koefisien *seebeck*nya bertanda positif. Sedangkan semikonduktor yang kelebihan elektron koefisien *seebeck*nya bertanda positif. Jadi koefisien *seebeck* setiap logam ada yang bernilai positif dan ada yang bernilai negatif. Koefisien *seebeck* tergantung pada perbedaan suhu dan perbedaan tegangan yang dihasilkan tergantung dari nilai koefisien *seebeck* dan perbedaan temperatur[19].

Di sisi lain, TEG akan dibentuk dengan menghubungkan seri listrik dan termal paralel. Dalam tegangan yang dihasilkan, termoelemen lebih tinggi dari termokopel karena tergantung pada perbedaan suhu. Sebagai contoh, koefisien *seebeck* dari pembuatan termoelemen dari semikonduktor  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  adalah  $-170 \mu\text{V/K} - 160 \mu\text{V/K}$  dan strukturnya sangat berbeda dari termokopel. Struktur termoelemen terbentuk dari hubungan ujung semikonduktor tipe p dan n. Ketika perbedaan suhu antara permukaan dibuat, tegangan  $V$  dihasilkan antara ujungnya yang terbuka. Nilai tegangan tergantung pada perbedaan suhu antara dua permukaan dan konstanta *seebeck*[19].

### 2.7.3.2 Konduktivitas Termal (*Thermal Conductivity*)

Konduktivitas termal merupakan suatu besaran yang menunjukkan kemampuan menghantarkan panas. Konduksi termal adalah suatu fenomena dimana perbedaan temperatur yang menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah lain yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Sifat konduktivitas termal berkaitan dengan perpindahan panas melalui material, panas yang ditransfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Bila aliran panas adalah paralel, maka gradien temperatur pada setiap penampang adalah sama[20].

### 2.7.3.3 Konduktivitas Listrik (*Electrical Conductivity*)

Konduktivitas listrik merupakan ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan akan bergerak dan berpindah dan menghasilkan arus listrik. Sifat konduktivitas listrik material dipengaruhi oleh nilainya *resistivity* material tersebut. Nilai dari *resistivity* berbanding terbalik dengan konduktivitas listrik[19]. Berikut tabel 2.4 sifat material termoelektrik yaitu *bismuth telluride* dan *copper*[9].

Tabel 2.4 sifat material termoelektrik yaitu *bismuth telluride* dan *copper*:

<i>Properties</i>	<i>Material</i>	
	<i>Bismuth Telluride</i>	<i>Copper</i>
<i>Thermal Conductivity</i>	1.6 W/m.K	400 W/(m.K)
<i>Density</i>	7740 kg/m <sup>3</sup>	8960 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Heat Capacity at Constant Pressure</i>	154.4 J/kg.K	385 J/(kg.K)
<i>Electrical Conductivity</i>	1.1e5 S/m	5.998e7 S/m
<i>Relative Permittivity</i>	1	1
<i>Seebeck Coefficient</i>	5,203e-4 V/K	6.5e-6 V/K

### 2.7.4 Termoelektrik Generator (TEG)

Termoelektrik generator (TEG) merupakan suatu teknologi yang dapat digunakan untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik secara langsung yang berdasarkan efek *seebeck*. Efek *seebeck* menjelaskan bahwa ketika dua logam tipe p dan tipe n dari material berbeda dihubungkan oleh dua sisi yang memiliki perbedaan temperatur maka akan terjadi perbedaan tegangan potensial antara dua logam tersebut. Generator

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

termoelektrik terdiri dari beberapa pasang termoelektrik tipe p dan tipe n. Pada saat sekarang, untuk tipe p terbuat dari bahan semikonduktor yang di *dopping* sehingga muatan yang dibawanya berupa *hole*, sedangkan untuk tipe n terbuat dari bahan semikonduktor yang di *dopping* sehingga muatannya yang dibawa berupa elektron. Bahan tipe-p dan tipe-n yang digabungkan secara termal secara paralel dan secara seri[19].

Sumber panas yang diberikan pada generator termoelektrik akan mendorong elektron pada pin tipe-n menuju sisi dingin sehingga menciptakan arus melalui rangkaian. Hole pada tipe-p akan mengalir searah dengan arus yang terbentuk. Untuk aplikasi generator termoelektrik maka pasangan pin termoelektrik dirangkai bersama pada suatu modul termoelektrik. Parameter yang mempengaruhi daya keluaran generator termoelektrik adalah *figure of merit*, rasio temperatur pengoperasian dan beban eksternal[19].

### 2.7.5 Komponen Struktur Termoelektrik Generator (TEG)

Terdapat beberapa komponen utama pada konstruksi TEG diantaranya *heatsink* (alat penukar kalor) dan modul TEG berikut penjelasannya[18]:

#### 2.7.5.1 Heatsink (Alat Penukar Kalor)

*Heatsink* merupakan perangkat yang meningkatkan disipasi panas dari permukaan yang panas, biasanya kasus komponen pembangkit panas, dengan *ambient* dingin, biasanya udara. Sebuah *heatsink* menurunkan hambatan ini dengan meningkatkan luas permukaan yang bersentuhan langsung dengan pendingin. Hal ini memungkinkan lebih banyak panas yang akan hilang dan atau menurunkan suhu operasi perangkat. Tujuan utama dari *heatsink* adalah untuk menjaga suhu komponen bekerja di bawah suhu maksimum yang ditentukan oleh produsen perangkat[18].

#### 2.7.5.2 Modul Termoelektrik Generator (TEG)

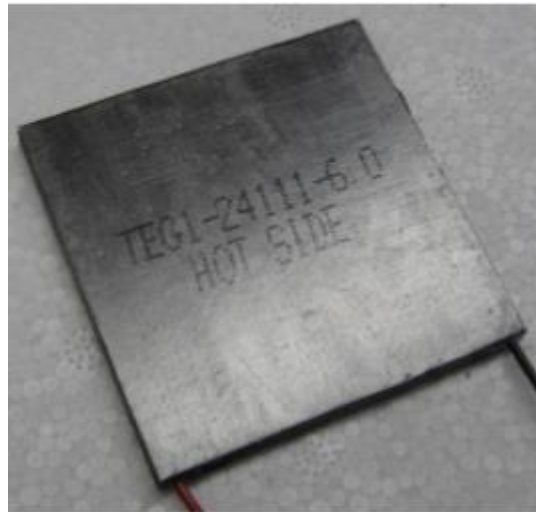
Modul TEG berfungsi sebagai media konversi panas menjadi listrik secara langsung. Modul TEG dapat berupa sebuah keping berbentuk persegi dengan ketebalan tertentu seperti terlihat pada gambar 2.12. jika terdapat perbedaan temperatur antara sisi yang satu dengan yang lainnya, maka akan timbul tegangan listrik searah yang keluar dari modul tersebut. Pada penelitian ini akan menggunakan modul termoelektrik jenis TEG tipe TEG-24111-6.0, modul tipe ini berbahan kinerja tinggi karena modul ini memiliki nilai  $T_h$  sebesar 300 °C dengan daya keluarannya sebesar 17,6 watt untuk per modul, dengan kepadatan daya sekitar 9,6 W/cm<sup>2</sup>.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

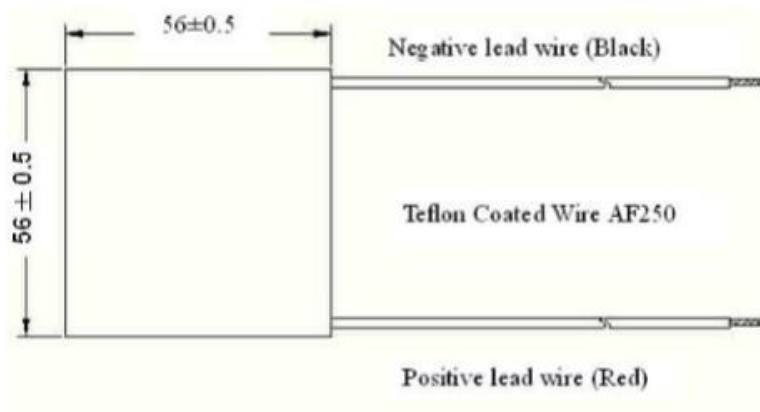


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.12 Termoelektrik Generator (TEG) Tipe TEG1-24111-6.0[8]



Gambar 2.13 Karakteristik Geometri Dimensi Termoelektrik Generator (TEG)[8]

Modul TEG tipe TEG1-24111-6.0 ini merupakan modul daya termoelektrik efek *seebeck* yang dirancang dengan bahan pengikatan suhu tinggi yang memungkinkan menahan temperatur hingga 320 °C (608 °F). Selama modul ditempatkan ke dalam system, dimana sisi panas berada pada suhu yang lebih tinggi daripada sisi dingin, dan daya DC nya akan diproduksi. Modul TEG1-24111-6.0 dirancang untuk menghasilkan *output* tegangan besar dibandingkan dengan modul standar 126 pasangan. Modul ini terdiri dari elemen semikonduktor p dan n dengan ukuran dimensi modul ini sekitar 56 mm × 56 mm dengan berbahan material  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Panas tersebut diserap dari satu sisi modul dan dipompa ke sisi lain saat menerapkan arus searah, sehingga suhu dikontrol dengan tepat. TEG1-24111-6.0 dirancang untuk dipasang pada permukaan panas datar untuk menghasilkan listrik. TEG dapat dipasang ke plat panas luar pemanas untuk mengubah panas buangnya untuk menghasilkan listrik. Panas yang lebih tinggi akan membuat temperatur lebih tinggi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dan akan menghasilkan daya *output* (keluaran) yang lebih tinggi dan tegangan. Pada TEG jenis ini dengan temperatur maksimum sebesar 300 °C dapat menghasilkan potensi daya sebesar 17,6 *watt* per modul dengan kepadatan daya sekitar 9,6 W/cm<sup>2</sup>[8].

### 2.8 Performansi Parameter dari Termoelektrik Generator (TEG)

Pada parameter dari TEG akan dihitung performansi arus listrik dari modul menggunakan rumus[20]:

$$I = \frac{\alpha(T_h - T_c)}{R_L + R} \quad (2.3)$$

dimana :

I = Arus listrik (A)

$\alpha$  = Koefisien *Seebeck* (V/K)

T<sub>h</sub> = Temperatur *Hot* (°C)

T<sub>c</sub> = Temperatur *Cold* (°C)

R<sub>L</sub> = Hambatan Dalam ( $\Omega$ )

R = Hambatan Luar ( $\Omega$ ), dalam permasalahan ini untuk nilai R<sub>L</sub> + R dianggap sama.

Untuk mendapatkan nilai R (*Electrical Resistance*) (R) merupakan perbandingan antara tegangan listrik dari suatu komponen elektronik dengan arus yang melewati. Terlebih dahulu menghitung resistivitas listrik ( $\rho$ ) disebut juga dengan tahanan merupakan hambatan listrik dari bahan konduktor persatuan panjang.menggunakan persamaan [20]:

$$\rho = \frac{4 \left(\frac{A}{L}\right) W_{\max}}{n(I_{\max})^2} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{\rho \times L}{A} \quad (2.5)$$

dimana :

n = jumlah modul termokopel TEG

I<sub>max</sub> = Arus Maksimum (A)

W<sub>max</sub> = Daya Maksimum(W)

$\rho$  = Resistivitas Listrik ( $\Omega m$ )

L = Panjang (m)

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

Perhatikan bahwa arus tidak tergantung pada jumlah termokopel dan memberikan tegangan pada modul di persamaan (2.6)[20] :

$$V_n = \frac{n\alpha(T_h - T_c)}{R} \left(\frac{R_L}{R}\right) \quad (2.6)$$

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dengan menggunakan persamaan (2.5) yang didefinisikan oleh tahanan beban eksternal untuk menghasilkan daya permodul[20] :

$$W_n = n[\alpha I(T_h - T_c) - I^2 R] \quad (2.7)$$

Dan akan memberikan nilai *output* daya sebagai berikut[20] :

$$W_n = \frac{n\alpha^2(T_h - T_c)^2}{\frac{R_L}{R} + 1} \frac{\frac{R_L}{R}}{(1 + \frac{R_L}{R})^2} \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk menghitung *output* daya maksimumnya menjadi[20] :

$$W_{maximum\ power} = N \times W_N \quad (2.9)$$

Keterangan :

- $V_n$  = Tegangan Permodul (volt)
- $W_n$  = Daya Permodul (watt)
- $n$  = jumlah termokopel
- $\alpha$  = koefisien *seebeck* (V/K)
- $R$  = Hambatan ( $\Omega$ )
- $R_L$  = Hambatan luar ( $\Omega$ )
- $N$  = jumlah modul

Pada TEG terdapat *figure of merit* yang mana merupakan kuantitas numerik yang berdasarkan pada satu atau lebih karakteristik sistem atau perangkat yang mewakili ukuran efisiensi atau efektivitas. Berikut persamaan *figure of merit*. *Figure of merit* merupakan jumlah yang digunakan untuk mengkarakterisasi kinerja perangkat, sistem atau metode relatif terhadap alternatifnya[20].

$$z = \frac{\alpha^2}{\rho \times k} \quad (2.10)$$

Dan

$$zT = z \left( \frac{T_c + T_h}{2} \right)$$

dimana ,

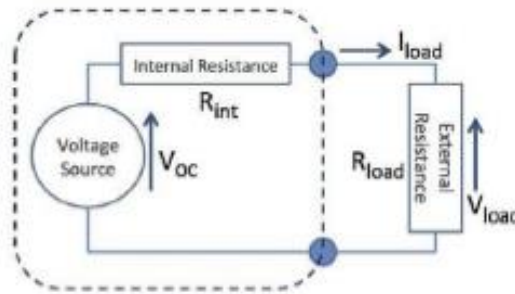
- $zT$  = *Figure of merit*
- $k$  = Konduktivitas termal ( $W/mK$ )

**2.9 Konfigurasi Termoelektrik Generator (TEG)**

Sistem TEG beberapa modul TEG disusun dalam rangkaian interkoneksi seri maupun paralel untuk meningkatkan daya yang dibutuhkan. TEG dapat dimodelkan secara elektrik sebagai sumber tegangan secara seri dengan resistansi internal seperti gambar 2.9. Nilai tegangan yang dihasilkan akan berbeda dengan suhu[21].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Thermoelectric Generator

Gambar 2.14 Model Elektrik Termoelektrik Generator (TEG)[21]

TEG akan menghasilkan suatu arus didalam rangkaian eksternal dengan menerapkan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Dimana besarnya beda suhu akan menentukan seberapa besar beda potensial dan arah aliran panas yang akan menentukan polarisasi tegangan. TEG yang dihubungkan dengan arus pendek secara elektrik akan memiliki konduktansi termal yang tinggi. Daya keluaran TEG dapat dimaksimalkan dengan menyetarakan impedansi listrik dengan hambatan internal TEG. Perbedaan suhu akan semakin besar dan menyebabkan hambatan internal setiap TEG berbeda pada rangkaian di beberapa TEG. Terdapat perbedaan antara daya keluaran yang dihasilkan dari pengukuran satu modul TEG dan daya keluaran yang dihasilkan dari pengukuran saat setiap modul tersambung bersamaan dalam sistem[21].

Berikut beberapa penelitian terkait dengan konfigurasi susunan modul TEG pada tabel 2.2.

Tabel 2.5 Konfigurasi susunan TEG pada beberapa penelitian [21]

Jumlah Modul	Jenis Susunan (Maksimum)	Daya (W)
3	Seri	18.22
10	5 Seri 2 Paralel	32.63
3	Paralel	12.29
8	Seri	3.15

Pada konfigurasi TEG ini berhubungan dengan hukum ohm dan hukum kirchoff I dan kirchoff II[22] :

- a. Hukum Ohm

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Jika sebuah penghantar atau resistansi atau hantaran dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung penghantar tersebut akan muncul beda potensial atau hukum ohm. Hukum ohm mengatakan bahwa tegangan melintasi berbagai jenis bahan penghantar adalah berbanding lurus dengan arus yang mengalir melalui bahan tersebut.

Secara matematis :

$$V = I.R \quad (2.11)$$

b. Hukum *kirchoff* I

Hukum *kirchoff* merupakan dua persamaan yang berhubungan dengan arus dan beda potensial (umumnya dikenal dengan tegangan) dalam rangkaian listrik. Dimana jika jumlah arus listrik yang masuk melalui titik percabangan dalam suatu rangkaian listrik sama dengan jumlah arus yang keluar melalui titik percabangan tersebut.

c. Hukum *kirchoff* II

Jumlah tegangan pada suatu lintasan tertutup sama dengan nol, atau penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk suatu lintasan tertutup bernilai sama dengan nol. Secara matematis :

$$\sum v = 0$$

Dalam hukum *kirchoff* akan berhubungan dengan seri dan paralel. Pada hubungan seri, jika salah satu terminal dari dua elemen tersambung akibatnya arus yang lewat akan sama besar. Berikut persamaan hubungan rangkaian seri[22]:

$$kv1 : \sum v = 0 \quad (2.12)$$

$$V_1 + V_2 + V_3 - V = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$V = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\frac{V}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{ek} = R_1 + R_2 + R_3$$

Jika pembagi tegangannya :

$$V_1 = IR_1$$

Dimana,

$$I = \frac{V}{R}$$

sehingga,

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1+R_2+R_3} V$$

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada hubungan paralel, jika semua terminal terhubung dengan elemen lain dan akibatnya tegangan diantaranya akan sama. Berikut persamaan hubungan paralel[22]:

$$Kcl : \Sigma i = 0 \tag{2.13}$$

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{V}{R_{ek}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{ek}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Jika pembagi arusnya :

$$i_1 = \frac{V}{R_1}$$

Dimana,

$$V = iR_{ek}$$

## 2.10 Penyelesaian Model Matematika

Untuk penyelesaian model matematika terdapat beberapa metode dan model matematika yang akan digunakan dalam perhitungan.

### 2.10.1 Metode Matematika

Dalam metode matematika terdapat dua metode yaitu metode numerik dan metode analitik (metode sejati). Berikut penjelasan dari dua metode matematika yang digunakan :

#### 2.10.1.1 Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang di formulasikan secara matematik dengan cara operasi hitungan yang terdiri dari operasi penambahan, kurang, bagi dan kali. Manfaat dari metode numerik diantaranya mampu menangani persamaan besar, ketaklienieran dan geometri yang rumit, yang ada dalam masalah rekayasa tidak mungkin di pecahkan secara analitis, mengetahui secara singkat dan jelas teori matematika yang mendasari paket program, mampu merancang program sendiri sesuai permasalahan yang di hadapi pada masalah rekayasa, dan metode ini mampu menambahkan ketangguhan dan keterbatasan komputer dalam menangani masalah rekayasa yang tidak dapat di tangani secara analitis[23].

Pada metode numerik terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan diantaranya :

#### a. Kelebihan Metode Numerik

1. Selalu dapat memperoleh solusi persoalan
2. Dengan bantuan komputer, perhitungan cepat dan hasilnya dapat di buat sedekat mungkin dengan nilai sesungguhnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Tampilan hasil perhitungan dapat di simulasikan
  - a. Kekurangan Metode Numerik

1. Nilai yang diperoleh adalah hampiran dan bukan nilai *exact*.  
 Tanpa bantuan alat hitung, perhitungan umumnya lama dan berulang-ulang[23].

### 2.10.1.2 Metode Analitik

Metode analitik adalah metode penyelesaian model matematika dengan rumus-rumus aljabar yang sudah baku (lazim). Metode analitik disebut juga metode sejati karena memberikan solusi sejati (*Exact Solution*) atau solusi yang sesungguhnya, yaitu solusi yang menggunakan galat (*error*) sama dengan nol. Metode analitik ini hanya unggul untuk sejumlah persoalan yang terbatas, yaitu persoalan yang muncul di dunia nyata serta melibatkan bentuk proses yang rumit. Akibatnya nilai praktis penyelesaian metode analitik menjadi terbatas. Metode analitik memiliki kelebihan yaitu memiliki nilai sejati (*exact*), selain itu juga ada kekurangan diantaranya memakan waktu dan pikiran, dan tidak dapat ditemukannya suatu penyelesaian[23].

### 2.10.2 Model Matematika

Pondasi untuk pemodelan adalah kepadatan aliran panas berikut persamaannya [24]:

$$\vec{q} = \alpha \cdot T \cdot \vec{j} - k \cdot \nabla T \tag{2.14}$$

$$\nabla \cdot \vec{q} = \vec{j} \cdot \vec{E}$$

Dan kepadatan arus listrik,

$$\nabla \cdot \vec{j} = Q_{j,v} \tag{2.15}$$

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} - \sigma \cdot \alpha \cdot \nabla T$$

Untuk deskripsi sistem termoelektrik. Parameter material  $\sigma$  yang menggambarkan konduktivitas listrik sementara  $\alpha$  mencerminkan koefisien *seebeck* dan  $k$  mewakili konduktivitas termal dengan menggunakan medan listrik[24].

$$\vec{E} = \frac{\partial T}{\partial x} \cdot \alpha + \frac{\vec{j}}{\sigma} \tag{2.16}$$

Untuk deskripsi termoelektrik berikut dapat dimasukkan ke dalam persamaan diferensial parsial[24].

$$k = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \vec{j} \cdot \frac{\partial(\sigma T)}{\partial x} + \vec{j} \cdot \alpha \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{\vec{j}^2}{\sigma} \tag{2.17}$$

Berdasarkan persamaan diferensial parsial ini dapat menghitung semua fenomena penting termoelektrik seperti efek *seebeck* atau *peltier*. Bagian penting dalam pemodelan adalah integrasi persamaan diferensial parsial ini ke dalam lingkungan simulasi *comsol*

*comsol multiphysics*. *Comsol multiphysics* memberikan kemungkinan untuk penerapan mode PDE yang terpisah. Pemodelan semacam ini menawarkan tingkat fleksibilitas maksimum yang tinggi. Terdapat dua mode aplikasi PDE yaitu untuk suhu dan untuk tegangan listrik. Persamaan (2.10) menunjukkan persamaan diferensial parsial dalam notasi koefisien karena disimpan dalam *comsol multiphysics*[24].

$$\begin{cases} e_a \frac{\partial^2 u}{\partial u^2} - d_a \frac{\partial u}{\partial t} - \nabla \cdot (c \nabla u + \alpha u - \gamma) + \beta \cdot \nabla u + \alpha u = f \rightarrow \text{in } \Omega \\ n \cdot (c \nabla u + \alpha u - \gamma) + qu = g - h^T \mu \rightarrow \text{on } \partial \Omega \\ hu = r \rightarrow \text{on } \partial \Omega \end{cases} \quad (2.18)$$

Dimana,

- $\Omega$  = domain komputasi
- $\partial \Omega$  = dalam batas domain
- $n$  = unit normal vektor luar pada  $\partial \Omega$
- $u$  = variabel tunggal dependen

## 2.11 Analisis Perhitungan Potensi Keluaran dari Termoelektrik Generator (TEG)

Pada analisis perhitungan potensi keluaran akan menggunakan metode simulasi dengan *tools comsol multiphysics 5.3a*. Dari simulasi yang dilakukan akan menghasilkan potensi keluaran berupa tegangan listrik dan arus listrik berikut penjelasannya.

### 2.11.1 Tegangan Listrik

Tegangan atau beda potensial adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan pada elemen atau komponen dari satu terminal ke kutub terminal lainnya. Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensial listriknya, suatu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi. Secara definisi tegangan listrik menyebabkan objek bermuatan listrik negatif tertarik dari tempat bertegangan rendah menuju tempat bertegangan lebih tinggi[22].

### 2.11.2 Arus Listrik

Arus merupakan suatu perubahan kecepatan muatan terhadap waktu muatan yang mengalir (bergerak) di dalam satuan waktu. Selama muatan tersebut bergerak maka akan muncul arus tetapi ketika muatan tersebut diam maka tidak ada arus yang mengalir. Muatan akan bergerak jika ada energi luar yang mempengaruhinya. Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan elektron-elektron yang



mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Ada macam-macam arus diantaranya arus searah (*direct current* atau DC) yaitu arus yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu dan akan mendapatkan nilai yang sama, sedangkan arus bolak-balik (*alternating current* atau AC) yaitu arus yang mempunyai nilai yang berubah terhadap satuan waktu dengan karakteristik akan selalu berulang untuk period waktu tertentu[22].

## 2.12 Simulasi

Simulasi adalah metode yang paling luas penggunaannya dalam mengevaluasi berbagai alternatif sistem sumber daya air. Menurut pendefinisian pada berbagai kamus, kata simulasi diartikan sebagai cara mereproduksi kondisi dari suatu keberadaan dengan menggunakan model dalam rangka studi pengenalan atau pengujian atau pelatihan dan sejenis lainnya. Simulasi dalam bentuk pengolahan data merupakan imitasi dari proses dan input ril yang menghasilkan data *output* sebagai gambaran karakteristik operasional dan keadaan pada sistem. Teknik ini mengandalkan coba-banding (*Trial and error*) untuk memperoleh hasil yang mendekati optimal. Dan suatu teknik numerik untuk melakukan percobaan-percobaan pada suatu komputer digital, yang melibatkan bentuk-bentuk fungsi matematika dan logika tertentu untuk menjelaskan tingkah laku dan struktur suatu sistem nyata yang kompleks[25].

### 2.12.1 Konsep Simulasi

Simulasi sebagai proses pengolahan data dengan penggunaan rangkaian model-model simbolik pada pengoperasian sistem tiruan tidak mengharuskan dan tidak mengajukan penggunaan formula atau fungsi-fungsi dan persamaan tertentu sebagai model *simbolik* penyelesaian persoalan, tetapi sebaliknya simulasi yang terdiri dari tahapan-tahapan dan langkah-langkah pengolahan data haruslah dilengkapi dengan model-model *simbolik* yang sesuai memberikan hasil pengoperasian sistem tiruan dalam bentuk data *output* yang berguna untuk penyelesaian persoalan. Simulasi juga tidak terikat dengan penggunaan model-model sistem acuan tetapi memerlukan pemodelan untuk menghasilkan model sistem dan model operasi sistem yang sesuai dengan tujuan penelitian atau penyelidikan[25].

Penyusunan model-model pada simulasi merupakan bentuk aplikasi dari teori, prinsip, dan pendekatan sistem. Model sistem dan model-model simbolik dari fungsi atau prosedur serta prosedur pengoperasian sistem tiruan haruslah disusun sebagai perangkat lunak untuk penyelidikan dan analisis karakteristik sistem[25].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 2.12.2 Manfaat Simulasi

Model simulasi merupakan tool yang cukup fleksibel untuk memecahkan masalah yang sulit untuk dipecahkan dengan model matematis biasa. Model simulasi sangat efektif digunakan untuk sistem yang relatif kompleks untuk pemecahan analitis dari model tersebut. Oleh karena itu, manfaat yang didapat dengan menggunakan metode simulasi adalah sebagai *tool* bagi perancang sistem atau pembuat keputusan. Adapun kelebihan model simulasi yaitu[25]:

1. Tidak semua sistem dapat dipresentasikan dalam model matematis, simulasi merupakan alternatif tepat.
2. Dapat bereksperimen tanpa adanya risiko pada sistem nyata. Dengan simulasi memungkinkan untuk melakukan percobaan terhadap sistem tanpa harus menanggung risiko terhadap sistem yang berjalan.
3. Simulasi dapat mengestimasi kinerja sistem pada kondisi tertentu dan memberikan alternatif desain terbaik sebaik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
4. Simulasi memungkinkan untuk melakukan studi jangka panjang dalam waktu relatif singkat dan dapat menggunakan input data bervariasi.

Adapun kekurangan model simulasi yaitu:

1. Kualitas dan analisis model tergantung pada si pembuat model.
2. Hanya mengestimasi karakteristik sistem berdasarkan masukan tertentu.

### 2.12.3 Tahapan Simulasi

Proses Tahapan dalam mengembangkan Model dan simulasi komputer secara umum, sebagai berikut[25]:

- a. Dengan memahami sistem yang akan disimulasikan jika Pengembang model tidak tahu atau belum mengetahui cara kerja sistem yang akan dimodel simulasikan maka pengembang perlu meminta bantuan seorang ahli dibidang sistem yang bersangkutan. Data masukan, keluaran, *variable* dan parameter masih dalam bentuk simbol – simbol *verbal* (kata – kata).
- b. Mengembangkan Model matematika dari sistem Apabila pengembang sudah mengetahui cara kerja sistem yang bersangkutan, maka tahap berikutnya adalah memformulasikan model matematika dari sistem. Model matematika bisa dalam bentuk persamaan diferensial, persamaan aljabar linear, persamaan logika

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

diskret dan lain – lain disesuaikan dengan karakteristik sistem dan tujuan pemodelan.

- c. Mengembangkan model matematika untuk simulasi yang digunakan untuk menyederhanakan model matematik yang sudah dihasilkan sebelumnya. Agar lebih mudah dalam menyederhanakan model matematika, maka dibuatlah suatu *flow chart* untuk merinci tahapan yang harus dilewati untuk membuat program.
- d. Membuat program (*software*) Beberapa *flow chart* dari tahapan sebelumnya kemudian diimplementasikan lebih lanjut menjadi program (*software*) computer
- e. Menguji memverifikasi dan memvalidasi keluaran simulasi Simulasi pada dasarnya adalah menirukan sistem nyata (*realitas*) sehingga tolak ukur baik tidaknya simulasi adalah sejauh mana yang bersangkutan. Pengujian (*testing*) dilakukan pada tingkat modul program, untuk menguji fungsi *sub* sistem. Verifikasi dilakukan untuk membuktikan bahwa hasil implementasi program komputer sudah sesuai dengan rancangan model konsep dari sistem yang bersangkutan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran simulasi dengan data yang diambil dari sistem nyata (*realitas*).
- f. Mengeksekusi program simulasi untuk tujuan tertentu. Eksekusi program komputer bisa dilakukan secara waktu nyata (*real time*) atau waktu tidak nyata (*offline*) tergantung dari tujuan simulasi. Secara umum ada 3 tujuan simulasi, yaitu untuk mempelajari perilaku sistem, untuk pelatihan (*training*), untuk hiburan/permainan (*gaming*)[25].

**2.13 Software Untuk Persamaan Diferensial Matematika**

Untuk piranti atau *software* yang dapat digunakan untuk persamaan diferensial matematika terbagi 2 macam yaitu[25]:

**2.13.1 Fluent**

*Fluent* adalah perangkat lunak dalam komputer yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida dan perpindahan panas. Aliran dan perpindahan panas dari berbagai fluida dapat disimulasikan pada bentuk atau geometri yang rumit. Dengan menggunakan program *Fluent*, dapat diketahui parameter-parameter aliran dan perpindahan panas yang diinginkan. Distribusi tekanan, kecepatan aliran, laju aliran massa, distribusi temperatur, dan pola aliran fluida yang terjadi dapat diketahui pada tiap titik yang terdapat dalam sistem yang dianalisa[25].

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 2.13.2 Ansys

Ansys adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (*engineering*). Ansys menyediakan fasilitas untuk berintegrasi dengan perangkat lunak CAD sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. Ansys berisi beberapa fasilitas diantaranya yaitu[25]:

- a. *Engineering Data* yang digunakan sebagai *database* material lengkap dengan *properties* nya
- b. *Mechanical* digunakan untuk analisa struktur (statik) dan termal (perpindahan panas)
- c. *Fluid flow* yang terdiri dari *ansys CFX* dan *Fluent*, untuk analisa CFD (*Computational Fluid Dynamic*).
- d. *Design modeler* digunakan untuk membangun geometri model yang akan dianalisa. Juga dapat digunakan untuk memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak CAD.
- e. *Meshing applicatin* fasilitas untuk "meshing" baik pada CFD maupun *explicip dynamics*.
- f. *Bladegen* digunakan untuk membangun geometri *blade*, seperti *fan*, *blower*, sudu turbin, dan lainnya[25].

### 2.14 Comsol Multiphysics 5.3a

*Comsol multiphysics* merupakan piranti yang digunakan untuk pemodelan dan pemecahan dari semua jenis masalah berdasarkan pada persamaan *differensial parsial* (PDEs). Dengan *software* ini anda dapat dengan mudah memperluas model konvensional untuk salah satu tipe ilmu fisika menjadi model-model multifisika yang dapat memecahkan gabungan fenomena fisika dan menyelesaikannya secara bersamaan. Menggunakan mode aplikasi ini, anda dapat melakukan berbagai macam tipe analisis termasuk:

1. Analisis *stasioner* (*Time Independent*) dan bergantung waktu (*Time Dependent*)
2. Analisis *linear* dan *non-linear*
3. *Eigen frekuensi* dan analisis pengandaian

Dalam konfigurasi dasarnya, comsol menawarkan pemodelan dan analisis untuk banyak bidang aplikasi. Untuk beberapa bidang aplikasi selalu disediakan modul pilihan. Modul khusus aplikasi ini menggunakan metode terminologi dan metode penyelesaian khusus pada disiplin ilmu tertentu, yang dibuat lebih sederhana dan model menganalisa.

Model dalam comsol meliputi modul AC atau DC, modul akustik, modul perpindahan panas, modul MEMS, modul RF, dan modul mekanika struktural[26].

#### 2.14.1 Langkah-langkah Mensimulasikan Comsol

Adapun langkah-langkah mensimulasikan model dengan menggunakan *software* comsol adalah :

- a. Terlebih dahulu sebelum menggambar model geometri, dengan memilih ruangan dimensi 3D, 2D *axisymmetric*, 2D, 1D *axisymmetric* dan 1D. Setelah itu memilih *thermoelectric effect* yang akan kita gunakan untuk membuat suatu model geometri.
- b. Setelah itu sebelum menggambar model geometri, dengan memasukkan nama *layer 1* sebagai ruang untuk model geometrinya. Lalu untuk menentukan suatu domain pada model geometri, dengan memilih *top* dan *bottom* pada *layer position*.
- c. Memilih bahan, dengan setelah memilih model dimensi ruang 3D, 2D *axisymmetric*, 2D, 1D *axisymmetric* dan 1D yang dibuat pilih bahan pada setiap lapisan dan sifat masing-masing lapisan.
- d. Mendeklarasikan parameter, variabel dan fungsinya
- e. Pengaturan domain fisika, domain fisika tepat yang cocok dengan untuk setiap lapisan telah ditetapkan
- f. Pengaturan kondisi batas, dalam rangka memecahkan PDE, batas layak telah ditetapkan, yang dikenal sebagai di *tions con* (batas). Kondisi batas seperti yang diberikan oleh persamaan dalam *software* comsol telah digunakan untuk memecahkan model simulasi ini.
- g. *Meshing* merupakan proses pembagian geometri menjadi bagian-bagian kecil agar penyelesaian matematis yang dilakukan sesuai dengan kondisi sesungguhnya[26].

#### 2.15 Analisis Kelayakan

Analisis kelayakan merupakan suatu analisis dalam sebuah penelitian tentang dapat tidaknya suatu proyek dilaksanakan dengan berhasil. Berikut aspek yang dikaji pada analisis kelayakan :

##### 2.15.1 Analisis Teknis

Aspek teknis merupakan penilaian kesiapan suatu usaha dalam menjalankan kegiatannya dengan menilai ketepatan lokasi, luas produksi, dan *layout* serta kesiapan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

mesin dan teknologi. Dari aspek teknis ini didapatkan daya listrik yang dibangkitkan, dan efisiensi dari generator termoelektrik (TEG).

### 2.15.1.1 Daya Listrik yang dihasilkan dari generator termoelektrik (TEG)

Daya merupakan energi yang diperlukan untuk melakukan usaha atau kerja. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam watt. Daya listrik dilambangkan dengan huruf  $P$  dalam persamaan listrik. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan Hukum *Joule*, sesuai nama fisikawan Britania *James Joule* yang pertama kali menunjukkan bahwa energi listrik dapat berubah menjadi energi mekanik, dan sebaliknya[23]. Secara matematis besarnya daya listrik dapat ditulis sebagai berikut[20]:

$$P = V \cdot I = \frac{(\alpha \times \Delta T)^2}{R + R_{load}} \quad (2.19)$$

Dimana :

- $P$  = Daya listrik (Watt)
- $V$  = Tegangan (volt)
- $I$  = Arus listrik (ampere)
- $R + R_{load}$  = Hambatan Total ( $\Omega$ )

### 2.15.1.2 Efisiensi Generator Termoelektrik (TEG)

Efisiensi adalah suatu usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan jumlah energi yang dibutuhkan, dalam menggunakan sebuah peralatan atau bahkan sistem yang berhubungan dengan energi serta mengurangi biaya energi dan dapat menghasilkan penghematan secara finansial kepada konsumen jika penghematan energi tersebut tidak melebihi biaya tambahan untuk penerapan aplikasi teknologi hemat energi. Efisiensi yang merupakan fungsi dari rasio tahanan beban terhadap jumlah hambatan lengan generator, dan pada *output* daya maksimum. TEG sebagian besar dirancang untuk mencapai efisiensi maksimum atau daya listrik maksimum. Untuk daya listrik maksimum, tahanan beban harus sama dengan resistensi termokopel ( $R_{te} = R_{Load}$ ).

Dimana energi yang disuplai ke beban adalah daya *output* dari TEG dan energi panas yang diserap dipersimpangan panas adalah daya input dari TEG. Jika diasumsikan bahwa konduktivitas listrik, konduktivitas termal, dan koefisien *seebeck* dari  $\alpha$  dan konstanta dalam lengan, dan bahwa tahanan kontak di persimpangan panas dan dingin dapat diabaikan dibandingkan dengan jumlah resistansi lengan, maka untuk menghitung konversi efisiensi daya maksimum dapat ditulis dengan persamaan berikut[20].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hans kota milik UIN Suska Riau  
 UIN Suska Riau  
 Satg Isamic Inversity of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\eta_{mp} = \frac{(1 - \frac{T_h}{T_c})}{2 - \frac{1}{2}(1 - \frac{T_h}{T_c}) + \frac{2}{zT}(1 + \frac{T_h}{T_c})} \quad (2.20)$$

Keterangan :

$\eta_{mp}$  = efisiensi maksimum *power*

Dari konversi efisiensi daya maksimum tersebut dapat dihitung total panas yang diserap seperti rumus berikut :

$$Q_h = \frac{W_{maksimum}}{\eta_{mp}} = \frac{\text{keluaran daya maksimum}}{\text{konversi efisiensi daya maksimum}} \quad (2.21)$$

Keterangan :

$Q_h$  = Energi panas yang diserap (watt)

$W_{max}$  = Keluaran daya maksimum (watt)

Dimana K adalah konduktansi termal a dan b secara paralel dan R adalah resistansi seri a dan b. Dalam bahan termoelektrik  $\sigma$ , K, dan  $\alpha$  perubahan dengan suhu, dan keduanya, pembangkitan dan pendinginan harus diperhitungkan. Namun, ungkapan sederhana yang diperoleh untuk efisiensi masih dapat digunakan dengan tingkat akurasi yang dapat diterima jika rata-rata perkiraan nilai diadopsi untuk parameter ini pada rentang suhu yang diinginkan. Dimana suhu rata-rata didefinisikan sebagai  $T = \frac{T_h - T_c}{2}$ . Perlu dicatat

bahwa efisiensi siklus *carnot* adalah  $\eta_c = (1 - \frac{T_c}{T_h})$ [20].

Sehingga untuk perhitungan nilai efisiensi pada termoelektrik[20] :

$$\eta_{TE} = \frac{W_n}{Q_h} = \frac{\text{Keluaran daya permodul}}{\text{heat absorb}} \quad (2.22)$$

### 2.15.1.3 Kapasitas Produksi Pembangkitan Listrik Modul TEG

#### a. Kapasitas Pembangkitan Daya Listrik Modul TEG

Untuk menghitung pembangkitan daya listrik TEG dapat menggunakan persamaan berikut[28]:

$$W_{total\ daya} = \eta_{perangkat} \times P \times \text{jumlah Modul} \quad (2.23)$$

#### b. Menghitung Biaya per-kWh

Pada produksi pembangkit listrik akan menghitung besar nilai kWh yang dipakai sehari-hari. Nilai kWh dilihat dari besar pemakaian daya dari perangkat elektronik, yang mana besar dayanya akan terus bertambah mengikuti lama waktu kondisi perangkat menyala. Untuk menghitung pemakaian daya listrik per-kWh dengan rumus berikut[27]:

$$kWh = \frac{\text{daya pada perangkat elektronik} \times \text{durasi pemakaian}}{1000} \quad (2.24)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 2.15.14 Menghitung Luasan Mesin *Vacuum* dan TEG serta Peletakkan Modul TEG

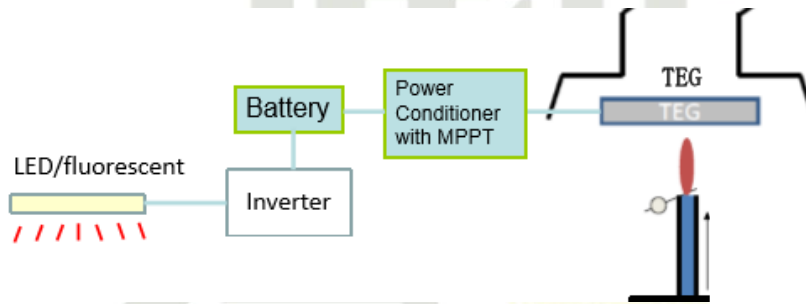
Pemasangan dan peletakkan pembangkit modul TEG ini akan ditempatkan pada selimut tabung di mesin *vacuum frying* dengan luas selimut tabung yang telah dihitung dan akan dipasang yaitu setengah dari selimut tabung, yang mana untuk menghitung luas penampang termoelektrik menggunakan persamaan berikut[28] :

$$\text{Luas penampang termoelektrik } A_{\text{teg}} = \left( \frac{\text{dimensi TEG}}{1000} \right)^2 \quad (2.25)$$

$$\text{Luas penampang termoelemen } A_{\text{leg}} = \frac{A_{\text{teg}}}{8 \times n} \quad (2.26)$$

### 2.15.15 Daya Pembangkitan Listrik

#### a. Gambar Daya Pembangkit



Gambar 2.15 Daya Pembangkit[28]

Pada gambar daya pembangkit diatas adalah untuk membangkitkan daya listrik dalam skala mikro untuk memenuhi beban penerangan. Panas terbuang dari mesin *vacuum frying* akan di *harvesting* menggunakan modul TEG. Daya listrik yang dihasilkan akan salurkan melalui adaptor kemudian ke beban listrik pada elektronik.

#### b. Adaptor

Adaptor adalah sebuah perangkat berupa rangkaian elektronika untuk mengubah tegangan listrik yang besar menjadi tegangan listrik yang lebih kecil, atau rangkaian untuk mengubah arus AC menjadi DC. Adaptor digunakan untuk menurunkan tegangan AC 22 volt menjadi kecil antara 3 volt sampai 12 volt sesuai kebutuhan alat elektronika. Adaptor terbagi menjadi empat bagian yaitu :

1. Adaptor DC *converter* merupakan sebuah adaptor yang dapat mengubah tegangan DC yang besar menjadi tegangan DC yang kecil.
2. Adaptor *step up* dan *step down*. Adaptor *step up* merupakan adaptor yang dapat mengubah tegangan AC yang kecil menjadi tegangan AC yang besar, sedangkan adaptor *step down* merupakan adaptor yang dapat mengubah tegangan AC yang besar menjadi tegangan AC yang kecil.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Adaptor *inverter* merupakan adaptor yang yang dapat mengubah tegangan DC yang kecil menjadi tegangan AC yang besar.
4. Adaptor *Power Supply* merupakan adaptor yang dapat mengubah tegangan listrik AC yang besar menjadi tegangan DC yang kecil[29].

### 2.15.2 Analisis Ekonomi

Aspek ekonomi merupakan salah satu aspek yang digunakan pada model teknik untuk mengetahui keadaan-keadaan yang bersifat makro maupun mikro dari suatu keadaan ekonomi. Pada aspek ekonomi akan mengkaji aspek biaya yang meliputi biaya awal investasi (*capital cost*), biaya operasional dan perawatan (*operating and maintenance cost*), *Payback Period* (PBP)[10].

#### 2.15.2.1 Aspek Biaya

Aspek biaya pembangunan meliputi biaya investasi awal yang terdiri dari biaya seluruh komponen dan biaya perawatan sistem. Adapun aspek biaya meliputi :

##### a. Biaya Awal (*Capital Cost*)

Biaya investasi awal adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan di awal-awal pembangunan dalam jumlah yang relatif besar dan berdampak jangka panjang. Salah satu contoh investasi awal adalah biaya keseluruhan bahan baku sistem, biaya pekerja, dan lainnya[10].

##### b. Biaya Operasional dan Perawatan (*Operational and Maintenance Cost*)

Biaya operasional adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu dalam jumlah yang relatif sama, sedangkan biaya perawatan adalah biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga atau menjamin performansi agar selalu prima dan siap untuk dioperasikan. Biaya O&M yang dikeluarkan selama periode hidup proyek, akan berbeda dari tahun ke tahun[10]. Untuk biaya biaya pemeliharaan dan operasional pada umumnya di ambil dari 1-2% dari jumlah keseluruhan biaya investasi awal[30]. Dengan menggunakan persamaan (2.30) berikut :

$$O\&M = 1 \% \times \text{Total biaya investasi awal} \quad (2.27).$$

##### c. *Payback Period* (PBP)

*Payback period* (PBP) merupakan teknik penilaian untuk mengetahui seberapa lama jangka waktu (periode) yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi dari suatu proyek atau usaha. PBP adalah Waktu yang dibutuhkan agar investasi yang telah dikeluarkan kembali kepada investor. Perhitungan *payback period* dilakukan untuk

mengetahui risiko keuangan terhadap proyek yang akan dilakukan. Nilai *payback period* yang semakin kecil akan semakin baik, dengan faktor risiko terhadap pengembalian modal akan semakin cepat dalam waktu yang cepat. Dalam menghitung *payback period* biasa disebut metode *payback* dengan membagi modal awal yang dikeluarkan dengan pendapatan yang diterima oleh pemodal selama setahun[10].

$$\text{Payback period} = \frac{\text{investasi}}{\text{Annual Benefit}} \times \text{tahun} \quad (2.28)$$

Dimana :

BPB = Jumlah periode pengembalian

*Annual benefit* = Biaya Keuntungan (Rp) – Biaya Operasional (Rp)

Biaya keuntungan didapat dengan mengkalikan kapasitas pembangkit daya listrik yang dihasilkan (kWh) dengan tariff per-kWh. Untuk menilai kelayakan suatu usaha atau proyek dari segi *Payback Period* adalah :

Jika : BPB > umur ekonomis proyek, maka tidak layak.

BPB < umur ekonomis proyek, maka layak

Kelemahan dari metode *Payback Period* adalah tidak memperhitungkan arus net profit pada tahun-tahun berikutnya, begitu juga dengan nilai sisa (*salvage value*) yang tidak dihitung setelah investasi kembali[10].

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan langkah studi kasus di desa kwalu nenas yang dilakukan pada tanggal 27 Agustus 2019 dengan berdasarkan teknik *sampling* mengambil salah satu objek *home industry* yaitu usaha baru ibu dengan pimpinan ibu Hj. Martini. Pada *home industry* ini untuk menghasilkan suatu produksi menggunakan sistem peralatan utama yaitu mesin *vacuum frying*. Mesin *vacuum frying* berfungsi sebagai mesin penggorengan yang menggunakan dua sumber energi yaitu kompor (gas) dan listrik. Dari beberapa peralatan elektronik yang ada di *home industry* ini mesin *vacuum frying* yang paling besar mengkonsumsi energi listrik. Ketika beroperasi mesin ini menghasilkan potensi energi panas, tetapi panas yang dihasilkan dari mesin *vacuum frying* ini terbuang begitu saja ke lingkungan. Sehingga dari panas buangan tersebut peneliti akan mengkaji panas tersebut dengan meng-*harvesting* energi menggunakan teknologi TEG sebagai pembangkit untuk mengubah temperatur panas dari mesin *vacuum frying* tersebut menjadi energi listrik.

#### 3.2 Alur Proses Penelitian

Secara garis besar proses penelitian dimulai dengan melalui tahap perencanaan dengan mengidentifikasi masalah, penentuan judul, rumusan masalah, membuat tujuan dan manfaat penelitian, dan dilanjutkan dengan menentukan jadwal penelitian. Tahapan selanjutnya dengan melakukan studi literatur dan pengumpulan data untuk mendukung penelitian ini. Selanjutnya setelah data terkumpul, dilakukan tahap selanjutnya yaitu mengolah data dengan melakukan analisis keluaran TEG dengan melakukan simulasi menggunakan *comsol*. Di tahapan selanjutnya menganalisis kelayakan, dimana untuk analisa kelayakan terbagi menjadi dua yaitu aspek teknis dan ekonomis. Aspek teknis akan dihitung berapa daya listrik yang dihasilkan, kapasitas pembangkit listrik TEG, efisiensi TEG, dan penggunaan modul TEG untuk memenuhi beban penerangan. Aspek ekonomis dengan memperhitungkan secara manual yaitu menghitung analisis biaya berupa biaya investasi awal, biaya *operational and maintenance*, *annual benefit*, dan *payback period* (PBP). Setelah itu tahap selanjutnya membuat kesimpulan berdasarkan tahap dan hasil penelitian yang kemudian disusun dalam pembuatan laporan tugas akhir.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

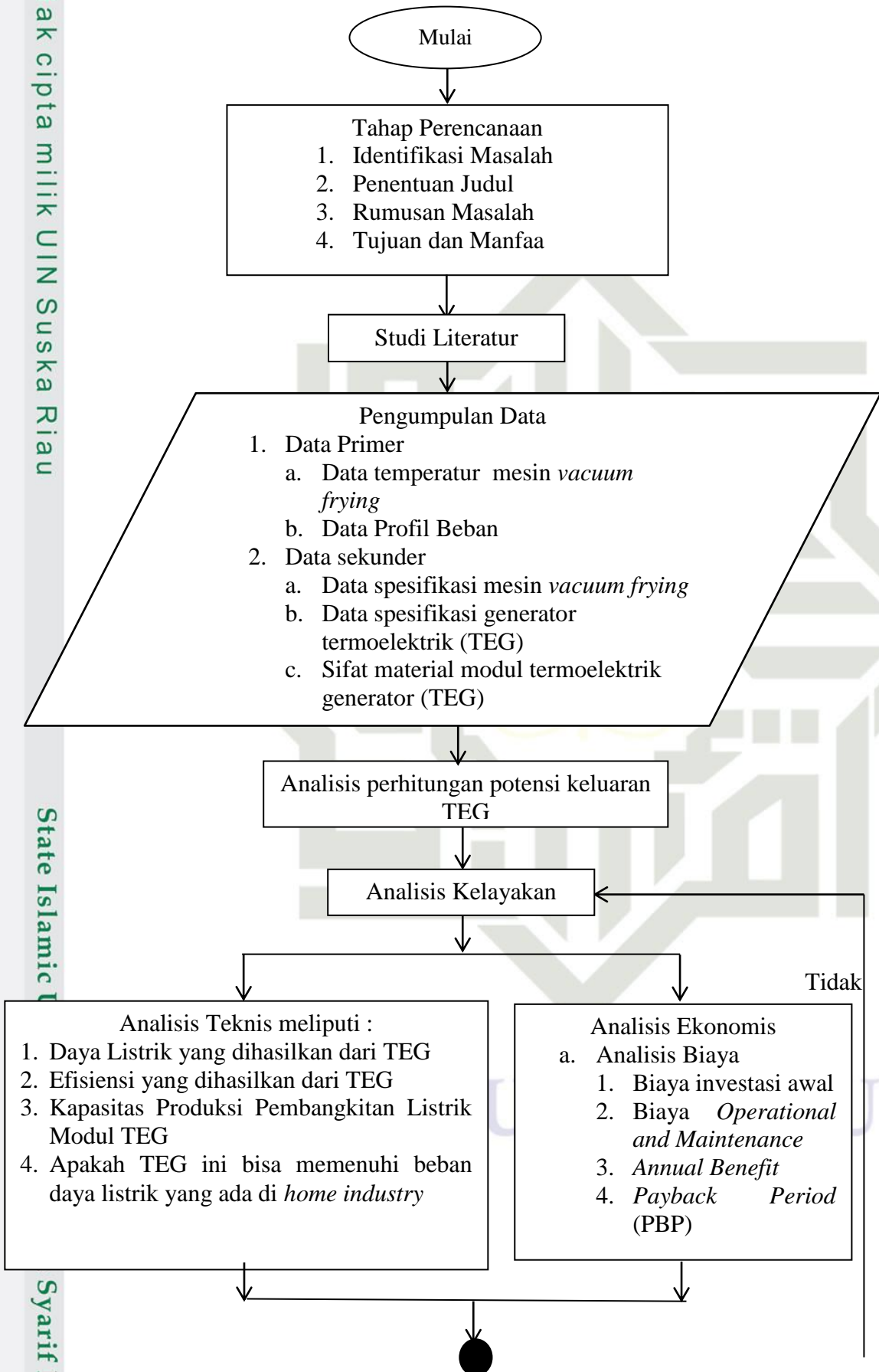
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

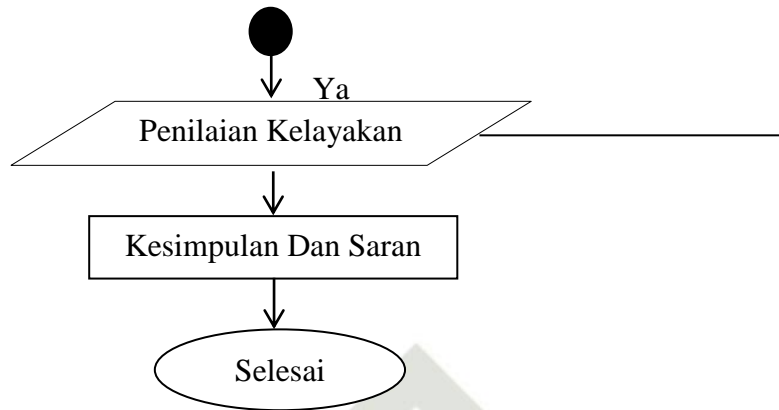
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

### 3.3 Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan sebuah tahapan paling awal dalam sebuah penelitian. Adapun perencanaan pada penelitian ini disusun sebagai berikut :

#### 3.3.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi merupakan kegiatan yang meneliti informasi yang akan diteliti. Adapun masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah mengkaji potensi energi panas buangan dari mesin *vacuum frying* dengan sistem *harvesting* energi dengan menggunakan teknologi TEG mengubah energi panas menjadi sumber energi listrik untuk memenuhi beban daya listrik di *home industry* usaha baru ibu.

#### 3.3.2 Penentuan Judul Penelitian

Judul adalah dasar berpikir pada sebuah penelitian yang dapat menggambarkan secara garis besar penelitian yang akan diangkat berdasarkan permasalahan untuk sebuah solusi dari permasalahan tersebut. Oleh karena itu permasalahan yang sudah didapat maka penulis melakukan penelitian dengan judul “Analisis Teknis Dan Ekonomis Termoelektrik Generator (TEG) Dengan Memanfaatkan Panas Mesin *Vacuum Frying* Sebagai *Harvesting* Energi Listrik (Studi Kasus : Desa Kualu Nenas)”.

#### 3.3.3 Rumusan Masalah

Beberapa pertanyaan yang akan dijawab pada hasil penelitian ini adalah bagaimana menganalisis potensi generator termoelektrik (TEG), menganalisis aspek teknis dari TEG dengan memanfaatkan panas mesin *vacuum frying* sebagai *harvesting* energi listrik di desa kualu nenas, menganalisis aspek ekonomi dari TEG, dan apakah TEG ini bisa memenuhi beban daya listrik yang ada di *home industry* usaha baru ibu.

### 3.3.4 Tujuan dan Manfaat

Target yang akan dicapai berhubungan dengan identifikasi masalah yang telah ditentukan. Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui secara ilmiah potensi serta aspek teknis dan ekonomis dengan memanfaatkan panas terbuang dari mesin *vacuum frying*.

### 3.4 Studi Literatur

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan pengumpulan beberapa penelitian yang dibutuhkan untuk menjadi referensi seperti buku, artikel dan jurnal-jurnal untuk dilakukan *literature review* baik nasional maupun internasional. Untuk mendapatkan topik yang akan diteliti oleh penulis, penulis dapat mengumpulkan sebuah referensi-referensi penelitian yang berkaitan dengan topik yang akan diteliti.

### 3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan beberapa prosedur diantaranya dengan cara :

1. Wawancara atau *interview* merupakan teknik pengumpulan data untuk memperoleh informasi dengan menggunakan pertanyaan secara lisan kepada narasumber yang dituju.
2. Observasi merupakan suatu cara pengambilan data dengan melakukan pengamatan secara langsung.
3. Sumber data merupakan suatu sumber penelitian yang telah didapatkan oleh peneliti untuk melakukan penelitiannya. Sumber data penelitian terdiri atas sumber data primer dan data sekunder.

#### 3.5.1 Pengambilan Sampel

Sampel merupakan bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi. Untuk itu sampel yang diambil dari populasi harus benar-benar representatif (mewakili). Pada penelitian ini untuk pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode teknik *sampling*.

##### 3.5.1.1 Teknik *Sampling*

Teknik *sampling* merupakan teknik pengambilan sampel. Untuk menentukan sampel dalam penelitian, terdapat berbagai teknik *sampling* yang digunakan. Secara skematis teknik *sampling* pada dasarnya dapat di kelompokkan menjadi dua yaitu *probability sampling* dan *non probability sampling*.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

a. *Probability Sampling*

*Probability sampling* merupakan teknik pengambilan sampel yang memberikan peluang yang sama bagi setiap unsur populasi untuk dipilih menjadi anggota sampel.

b. *Non Probability Sampling*

*Non probability sampling* merupakan teknik pengambilan sampel yang tidak memberi peluang atau kesempatan sama bagi setiap unsur atau anggota populasi untuk dipilih menjadi sampel.

Berikut ini penentuan jumlah sampel dari populasi tertentu yang dikembangkan dari *Saac* dan *Michael*, untuk tingkat kesalahan 1% , 5%, dan 10%. Rumus menghitung ukuran sampel dari populasi yang tidak diketahui jumlahnya adalah sebagai berikut[31]:

$$s = \frac{\lambda^2 \times N \times P \times Q}{d^2 \times (N-1) + \lambda^2 \times P \times Q} \quad (3.1)$$

dimana :

$\lambda^2$  = dengan dk = 1, taraf kesalahan bisa 1%, 5%, dan 10%

P = Q = 0.5

d = 0.05

N = Jumlah sampel

s = Jumlah sampel yang digunakan

**3.5.2 Alat yang Digunakan**

1. Termokopel 1 unit

**3.5.3 Data Primer**

Data primer merupakan suatu sumber data penelitian yang diperoleh secara langsung (tidak melalui media perantara) tetapi diperoleh dari sumber aslinya yang berupa wawancara, maupun hasil observasi dari suatu objek kejadian atau hasil pengujian suatu benda. Peneliti membutuhkan data dengan cara memberikan pertanyaan riset (metode *survey*) atau metode observasi. Data primer yang peneliti ambil berupa data temperatur mesin *vacuum frying*, data spesifikasi mesin *vacuum*, dan data profil beban daya listrik.

Berikut data primer yang diambil peneliti untuk melakukan dan menghasilkan sebuah penelitian :

**3.5.3.1 Data Temperatur Mesin *Vacuum Frying***

Data temperatur merupakan suatu data yang diukur dari sumber potensi energi panas yang terbuang dari mesin *vacuum frying*. Data temperatur panas akan di *harvesting*

menggunakan modul TEG yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik. Data temperatur panas tersebut di ukur secara langsung dengan menggunakan suatu alat yang dinamakan termokopel. Untuk proses pengambilan temperatur panas dari mesin *vacuum frying*, akan di ukur saat mesin beroperasi selama 1 kali dalam durasi 3 Jam, yang mana pada pengambilan temperatur akan di ukur berdasarkan durasi selang waktu 30 menit.

### 3.5.3.2 Data Profil Beban

Data profil beban yang diambil yaitu berdasarkan peralatan elektronik yang ada di *home industry* usaha baru ibu. Peralatan elektroniknya terdiri dari lampu, mesin *vacuum frying*, pompa air, dan kipas angin. Penggunaan perangkat elektronik di *home industry* ini menggunakan daya lampu sebesar 18 watt durasi pemakaiannya selama 12 jam, pompa air 250 watt selama 2 jam, mesin *vacuum* 800 watt selama 12 jam, dan kipas angin 30 watt. Untuk menghitung profil beban daya listrik per-kWH hanya dengan mengalikan daya listrik yang dihasilkan dari elektronik tersebut dikali dengan durasi pemakaiannya.

### 3.5.4 Data Sekunder

Data sekunder merupakan sebuah sumber data penelitian yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui suatu media perantara atau secara tidak langsung yang berupa buku, catatan, bukti yang telah ada yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan secara umum. Berikut beberapa data sekunder pada penelitian ini :

#### 3.5.4.1 Data Spesifikasi Termoelektrik Generator (TEG)

Pada penggunaan jenis TEG untuk penelitian ini akan dipilih berdasarkan data potensi temperatur panas pada mesin *vacuum frying*. Sehingga TEG yang digunakan pada penelitian ini bertipe TEG1-24111-6.0 dengan ukuran dimensi 56 mm × 56 mm. Jenis TEG ini berbahan material  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  alloys yang mana daya *output max* yang dihasilkan sebesar 17,6 watt per modul dengan kepadatan daya sekitar 9,6 W/cm<sup>2</sup>, daya tersebut dihasilkan ketika nilai  $T_h$  sebesar 300 °C dengan kisaran  $T_c$  sebesar 30 °C[8].

#### 3.5.4.2 Sifat Material dari Termoelektrik Generator (TEG)

Material adalah suatu bahan zat kimia atau campuran zat lain yang merupakan suatu objek. Sifat material dari TEG merupakan parameter yang di *input* kan dalam menjalankan simulasi dengan menggunakan *tools software comsol multiphysics* 5.3a. Sifat-sifat material TEG yang dimaksud meliputi nilai *seebeck*, konduktivitas listrik, dan konduktivitas panas. Dari sifat material tersebut yang memiliki nilai konduktivitas listrik yang tinggi dan konduktivitas panas yang rendah yaitu material  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  merupakan bahan logam yang memiliki nilai *figure of merit* dan resistansi listrik yang tinggi dan



memiliki efek yang tertinggi diantara logam lainnya[19]. Selain menggunakan material  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  penelitian ini juga menggunakan *copper* yang merupakan konduktor panas dan listrik yang baik.

### 3.5.4.3 Data Spesifikasi Mesin *Vacuum Frying*

Data spesifikasi mesin *vacuum frying* yang didapat dari hasil observasi (pengamatan secara langsung). Mesin *vacuum frying* ini berukuran kapasitas 3,5 kg dengan daya yang digunakan sebesar 800 watt dengan tegangan 220 volt. Mesin *vacuum frying* ini dilengkapi dengan pompa *vacuum water jet*, tabung penggoreng yang terbuat dari material *stainless steel* dengan nilai konduktivitas nya 15 W/m.K dengan tebal bahan material 3 mm dan ukuran dimensi tabung penggorengan sebesar 38 cm × 70 cm × 53 cm, unit bak air dengan dimensi 122 cm × 122 cm × 65 cm, unit pemanas yang digunakan adalah kompor gas, unit pengendali operasi (panel kontrol) yang tersambung dari kompor dengan pompa, bagian pengaduk penggorengan dan mesin peniris minyak (*spinner*).

### 3.6 Analisis Perhitungan Potensi Keluaran TEG

Pada pembangkit listrik TEG ini akan menghasilkan potensi keluaran berupa tegangan dan arus. Tegangan merupakan perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik, sedangkan arus merupakan suatu perubahan kecepatan muatan terhadap waktu muatan yang mengalir (bergerak) di dalam satuan waktu[22]. Untuk mendapatkan hasil potensi keluaran TEG tersebut, perlu di lakukan langkah awal sebagai berikut :

#### 3.6.1 Melihat Potensi Panas

Pada penelitian ini dengan melihat potensi panas yang dihasilkan dari suatu sumber energi yaitu pada mesin *vacuum frying*. Panas yang dihasilkan dari mesin *vacuum frying* ini berupa energi panas. Dari pengukuran yang dilakukan didapatkan rata-rata nilai  $T_h$  sebesar 232,4 °C, dari temperatur yang tinggi pembuangan panas mesin *vacuum frying* ini akan dilakukan dengan mengharvesting energi dengan cara menggunakan salah satu teknologi yaitu generator termoelektrik (TEG).

#### 3.6.2 Memilih Spesifikasi Termoelektrik Generator (TEG)

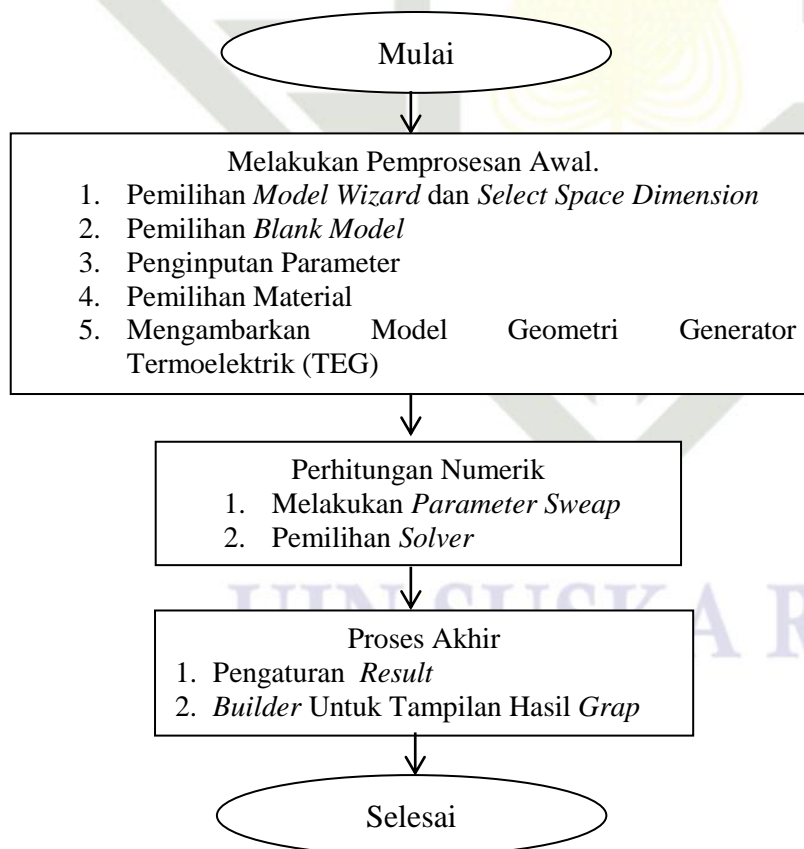
Dalam memilih dan menentukan jenis spesifikasi TEG yang cocok, terlebih dahulu dengan melihat sumber potensi panas yang dihasilkan dari panas buangan mesin *vacuum frying*. Sehingga jenis TEG yang cocok digunakan jenis TEG tipe TEG1-24111-6.0 dengan nilai  $T_h$  sebesar 300 °C.

### 3.6.3 Melakukan Simulasi *Comsol Multiphysics 5.3a*

Setelah memilih jenis spesifikasi TEG, akan melakukan simulasi. Menghitung berapa potensi keluaran panas dari harvesting energi berupa arus dan tegangan dengan menggunakan *tools comsol multiphysics 5.3a*. Dengan menginputkan data temperatur, spesifikasi properties material. Dari simulasi tersebut akan menghasilkan profil temperatur dan profil tegangan. Dari profil tegangan ini bisa dihitung berapa tegangan dan arus yang dihasilkan. Adapun penjelasan tahap simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini.

### 3.6.4 Tahap Simulasi

Simulasi merupakan suatu metode yang paling luas penggunaannya dalam mengevaluasi berbagai alternatif sistem. Konsep dari simulasi ini sebagai proses pengolahan data dengan menggunakan rangkaian model-model simbolik pada pengoperasian sistem tiruan dan tidak mengajukan penggunaan formal. Untuk melakukan suatu simulasi dibutuhkan sebuah alur yang digunakan untuk mempermudah melakukan simulasi. Berikut adalah alur simulasi penelitian dengan menggunakan piranti *comsol multiphysics 5.3a*.



Gambar 3.2 Diagram Simulasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

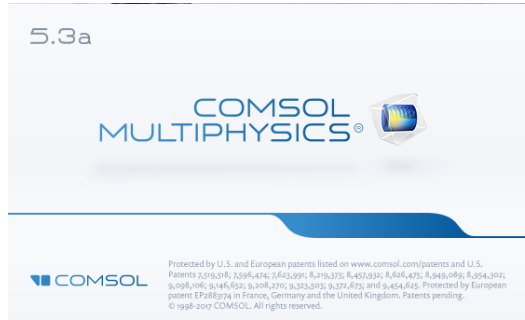
**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**3.6.4.1 Melakukan Pemrosesan Awal**

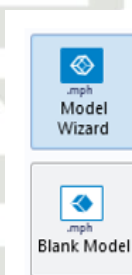
Pemrosesan awal merupakan suatu proses langkah awal sebelum melakukan suatu simulasi. Dengan mengikuti dan

1. Pada pemrosesan awal klik ganda ikon *Comsol Multiphysics 5.3a*.



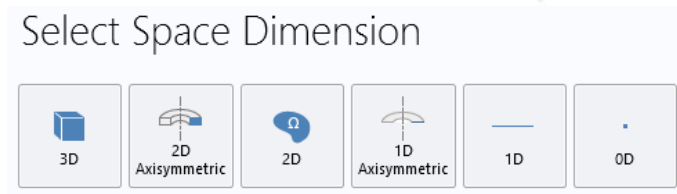
Gambar 3.3 Ikon *Comsol Multiphysics 5.3a*[9]

2. Selanjutnya akan muncul ke jendela baru dengan dua opsi model baru yaitu *model wizard* dan *blank model*. Sebelum membuat simulasi terlebih dahulu *model wizard* akan memandu Anda melalui langkah pertama untuk menyiapkan model. Jendela baru memungkinkan Anda memilih dimensi ruang pemodelan.



Gambar 3.4 Membuat Model Baru dengan *Model Wizard* dan *Blank Model*[9]

3. Setelah mengklik *model wizard*, akan muncul *select space dimension* pilih 3D

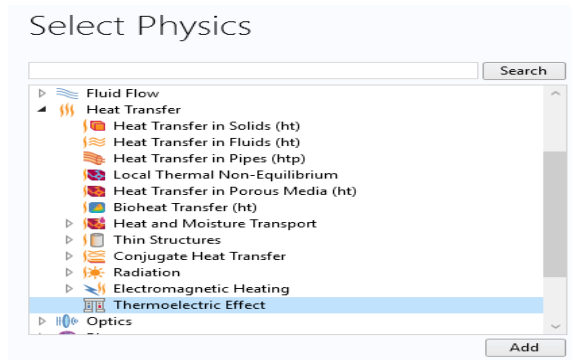


Gambar 3.5 Pilih Ruang Dimensi[9]

4. Kemudian akan muncul *select physics > heat transfer > thermoelectric*, dan klik *add*.

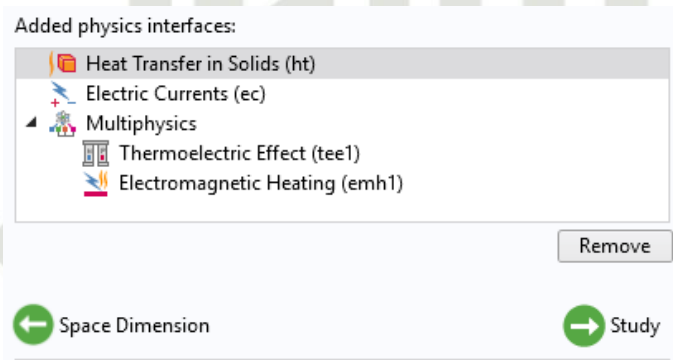
**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



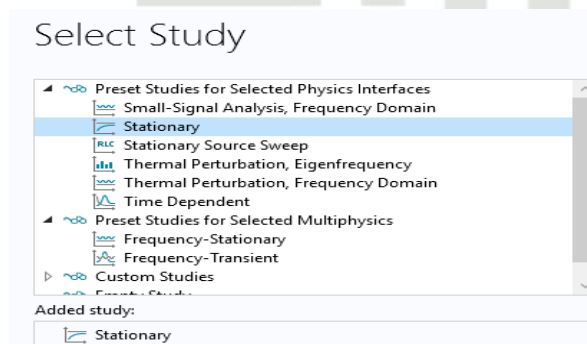
Gambar 3.6 Pemilihan *Select Physics* > *Heat Transfer* > *Thermoelectric Effect* > *Add*[9]

Setelah mengklik *add* akan muncul tampilan seperti pada Gambar 3.10, lalu klik *study*.



Gambar 3.7 *Added Physics Interface*[9]

5. Setelah mengklik *study* akan muncul tampilan *select study* > *preset studies for selected physics interfaces* > *stationary* > *done*.



Gambar 3.8 Tampilan *Select Study*[9]

6. Selanjutnya memasukkan parameter yang digunakan berdasarkan kebutuhan yang akan di simulasikan pada kolom parameter. Dengan memilih *component* > *materials*. Parameter yang di *input* berupa nilai temperatur dan kepadatan arus.

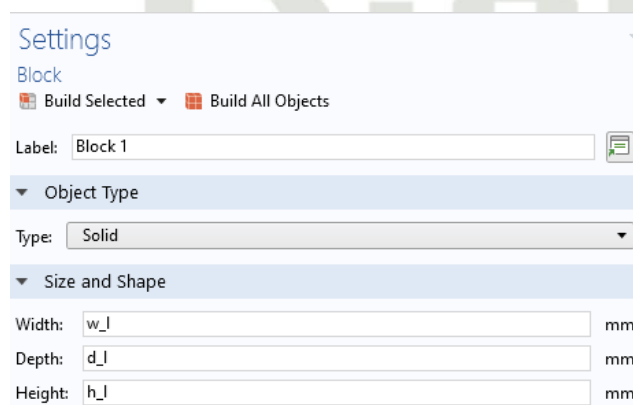
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Parameters			
Name	Expression	Value	Description
w_l	3.11[mm]	0.00311 m	lebar
d_l	1[mm]	0.001 m	panjang
h_l	2.44[mm]	0.00244 m	tinggi
Th	573[K]	573 K	temperatur panas modul
Tc	303[K]	303 K	temperatur dingin modul
T_mh	505.4[K]	505.4 K	temperatur panas mesin
k_iso	1.6[W/(m*K)]	1.6 W/(m·K)	konduktivitas panas
W_max	17.6[watt]	17.6 W	daya maksimum
V_max	8.8[V]	8.8 V	tegangan maksimum
I_max	2.0[A]	2 A	arus maksimum
n	126	126	jumlah modul
J0	0.7[A]/(1[mm])^2	7E5 A/m <sup>2</sup>	kepadatan arus
S_iso	5.203e-4[V/K]	5.203E-4 V/K	koefisien seebeck
A	(w_l*d_l)	3.11E-6 m <sup>2</sup>	luas permukaan
rho	1.78e-4[ohm*m]	1.78E-4 Ω·m	hambatan listrik
L	2.44[mm]	0.00244 m	panjang dimensi
R	(rho*L)/A	0.13965 Ω	hambatan
R_tot	2*R	0.27931 Ω	hambatan total

Gambar 3.9 Memilih *Parameters*[9]

7. Setelah memasukan parameternya, selanjutnya mengambarkan *geometri* yang akan digunakan. Untuk memasukkan nilai geometri yang akan dibuat, pada *model builder>Geometry 1>*klik kanan dan pilih *block 1*. Pada *block 1* terlebih dahulu mengisi *size and shape*.

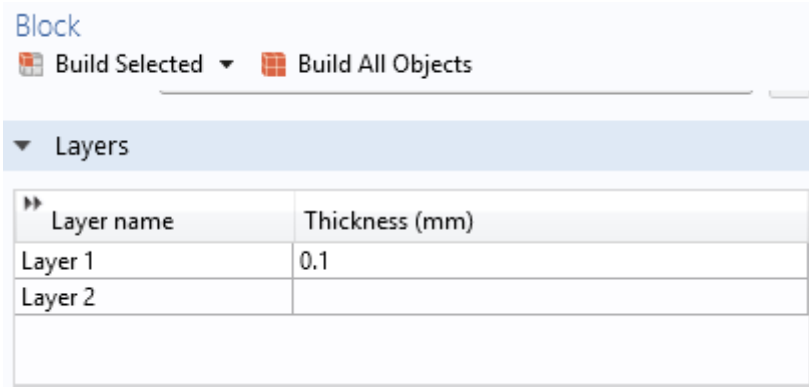


Gambar 3.10 *Setting Block*[9]

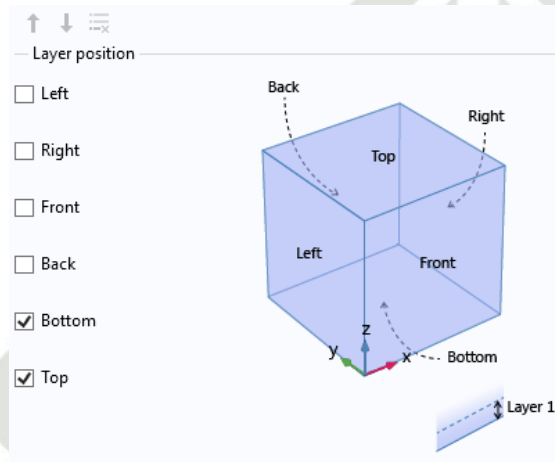
Kemudian pada *block 1* masukkan nama *layer 1* pada *layer name>*centang *top>Build All Objects* maka akan muncul geometri seperti gambar dibawah ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.11 Masukkan Nama *Layer 1* pada *Block 1*[9]



Gambar 3.12 Masukkan Nama *Layer 1* pada *Block 1* > Centang *Top* dan *Bottom* > *Build All Object*[9]

8. Langkah selanjutnya melakukan pemilihan material yang digunakan dalam TEG yaitu material *bismuth telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ). Pertama dengan mengklik kanan pada *model builder* > *material* > *blank material*.

Property	Variable	Value	Unit	Property group
Thermal conductivity	k_iso ;...	1.6[W/(...	W/(m...	Basic
Density	rho	7740[kg...	kg/m <sup>3</sup>	Basic
Heat capacity at constant pres...	Cp	154.4[J/(...	J/(kg·K)	Basic
Electrical conductivity	sigma...	1.1e5[S/...	S/m	Basic
Relative permittivity	epsilo...	1	1	Basic
Seebeck coefficient	S_iso ;...	5.203e-4...	V/K	Basic

Gambar 3.13 Pemilihan Material *Bismuth Telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )[9]

9. Selanjutnya melakukan pemilihan material bahan semikonduktor yang akan digunakan TEG dan *copper*

Property	Variable	Value	Unit	Property group
Relative permeability	mur_is...	1	1	Basic
Electrical conductivity	sigma...	5.998e7[...	S/m	Basic
Coefficient of thermal expansi...	alpha_...	17e-6[1/...	1/K	Basic
Heat capacity at constant pres...	Cp	385[J/(k...	J/(kg·K)	Basic
Relative permittivity	epsilo...	1	1	Basic
Density	rho	8960[kg...	kg/m <sup>3</sup>	Basic
Thermal conductivity	k_iso ;...	400[W/(...	W/(m·...	Basic
Young's modulus	E	110e9[Pa]	Pa	Young's modulus and Poi...
Poisson's ratio	nu	0.35	1	Young's modulus and Poi...
Reference resistivity	rho0	1.72e-8[...	Ω·m	Linearized resistivity
Resistivity temperature coeffici...	alpha	0.0039[1...	1/K	Linearized resistivity
Reference temperature	Tref	298[K]	K	Linearized resistivity

Gambar 3.14 Pemilihan Material Bahan Semikonduktor[9]

### 3.6.4.2 Perhitungan Numerik

Tahap selanjutnya yaitu perhitungan numerik, dimana perhitungan numerik adalah suatu proses yang dijalankan sesuai dengan berdasarkan nilai parameter variabel yang nantinya nilai tersebut di *inputkan*. Perhitungan numerik akan dilakukan oleh piranti lunak *comsol multiphysics 5.3a* di dalam aplikasi secara otomatis dengan memilih *solver configuration*.

### 3.6.4.3 Pemrosesan Akhir

Pemrosesan akhir adalah suatu proses dimana tahapan akhir dari melakukan sebuah simulasi *comsol* yang mana pada proses pemrosesan akhir ini adalah pengaturan *result* yang mana menampilkan hasil *grap* dari simulasi yang telah dilakukan.

## 3.7 Analisis Kelayakan

Analisis kelayakan merupakan suatu analisis dalam sebuah penelitian tentang dapat tidaknya suatu proyek dilaksanakan dengan berhasil. Berikut aspek yang dikaji pada analisis kelayakan :

### 3.7.1 Analisis Teknis

Pada penelitian ini akan dianalisis aspek teknik dari potensi temperatur panas mesin *vacuum frying* yang di *harvesting* menggunakan modul TEG. Adapun aspek teknis yang akan di analisis meliputi :

#### 3.7.1.1 Daya Listrik yang dibangkitkan dari Termoelektrik Generator (TEG)

Daya listrik yang dibangkitkan dari TEG akan dapat dihitung setelah mendapatkan nilai potensi keluaran berupa tegangan dan arus. Untuk menghitung besar daya yang akan dibangkitkan dapat dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.17). Daya listrik yang dihasilkan tersebut akan digunakan untuk memenuhi beban daya listrik yang ada di *home industry*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 3.7.1.2 Efisiensi Termoelektrik Generator (TEG)

Efisiensi yang merupakan fungsi dari rasio tahanan beban terhadap jumlah hambatan ligan generator, dan pada *output* daya maksimum. Dengan menghitung efisiensi dapat mengurangi penggunaan jumlah energi yang dibutuhkan, dalam menggunakan sebuah peralatan atau bahkan sistem yang berhubungan dengan energi serta mengurangi biaya energi. Pada TEG sebagian besar dirancang untuk mencapai efisiensi maksimum atau daya listrik maksimum. Dimana energi yang disuplai ke beban adalah daya *output* dari TEG dan energi panas yang diserap dipersimpangan panas adalah daya input dari TEG. Sehingga untuk menghitung efisiensi TEG digunakan pada persamaan (2.22).

### 3.7.1.3 Kapasitas Produksi Pembangkitan Listrik Modul TEG

Pada produksi pembangkit listrik akan menghitung besar nilai kWh pada perangkat elektronik yang digunakan sehari-hari. Nilai kWh akan dilihat berdasarkan dari besarnya pemakaian daya dari perangkat elektronik, yang mana besar dayanya akan terus bertambah mengikuti lama waktu kondisi perangkat menyala. Untuk menghitung pemakaian daya listrik per-kWh dengan menggunakan rumus pada persamaan(2.18)

### 3.7.2 Analisis Ekonomis

Setelah menganalisis aspek teknis, langkah selanjutnya yaitu dengan menganalisis aspek ekonomis dari segi aspek biaya. Aspek ekonomi merupakan salah satu aspek yang digunakan pada model teknik untuk mengetahui keadaan-keadaan yang bersifat makro maupun mikro dari suatu keadaan ekonomi.

#### 3.7.2.1 Analisis Biaya

Pada aspek ekonomi akan mengkaji aspek biaya yang meliputi biaya awal investasi (*capital cost*), biaya operasional dan perawatan (*operating and maintenance cost*), biaya siklus hidup (*life cycle cost*) dan *Payback Period* (PBP)[10]. Biaya Awal (*Capital Cost*)

##### d. Biaya investasi awal

Biaya investasi awal adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan di awal-awal pembangunan dalam jumlah yang relatif besar dan berdampak jangka panjang. Salah satu contoh investasi awal adalah biaya keseluruhan bahan baku sistem, biaya pekerja, dan lainnya[10].

##### c. Biaya Operasional dan Perawatan (*Operational and Maintenance Cost*)

Biaya operasional adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu dalam

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



jumlah yang relatif sama, sedangkan biaya perawatan adalah biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga atau menjamin performansi agar selalu prima dan siap untuk dioperasikan. Biaya O&M yang dikeluarkan selama periode hidup proyek, akan berbeda dari tahun ke tahun[10]. Untuk biaya biaya pemeliharaan dan operasional pada umumnya di ambil dari 1-2% dari jumlah keseluruhan biaya investasi awal[10].

#### d. *Payback Period (PBP)*

*Payback period (PBP)* merupakan teknik penilaian untuk mengetahui seberapa lama jangka waktu (periode) yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi dari suatu proyek atau usaha. Perhitungan *payback period* dilakukan untuk mengetahui risiko keuangan terhadap proyek yang akan dilakukan. Nilai *payback period* yang semakin kecil akan semakin baik, dengan faktor risiko terhadap pengembalian modal akan semakin cepat dalam waktu yang cepat. Dalam menghitung *payback period* biasa disebut metode *payback* dengan membagi modal awal yang dikeluarkan dengan pendapatan yang diterima oleh pemodal selama setahun[10].

### 3.8 Penilaian Kelayakan

Penilaian kelayakan merupakan suatu gambaran dari suatu proyek dalam penelitian apakah layak atau tidak dikembangkan penelitian tersebut. Jika pada aspek teknik dikatakan layak, jika daya yang dibangkitkan pada TEG dapat memenuhi beban penerangan di rumah produksi. Dan untuk aspek ekonomi dikatakan layak, jika nilai PP < umur ekonomis proyek maka layak.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil simulasi termoelektrik generator (TEG) yang telah didapatkan menggunakan *software comsol multiphysics 5.3a* maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada sumber potensi energi panas yang telah diukur per-30 menit selama proses operasi 3 jam dari mesin *vacuum frying* ini menghasilkan energi panas temperatur dari yang terendah sebesar 40,2 °C atau 313,2 K hingga tertinggi dengan sebesar 232,4 °C atau 505,4 K. Dari hasil energi panas temperatur tersebut dapat menghasilkan energi yang diserap sebesar 35,568 W.
2. Pada analisis teknis untuk menghasilkan keluaran pembangkit TEG dengan menggunakan spesifikasi modul TEG, spesifikasi mesin *vacuum* dan potensi energi panas temperatur mesin *vacuum frying*, terlebih dahulu dengan menghitung jumlah modul yang akan digunakan yaitu sebanyak 370 modul untuk 2 mesin. Sedangkan untuk hasil keluaran TEG menggunakan *software comsol 5.3a* didapatkan total arus listrik modul TEG sebesar 0,894 A dengan rata-rata 0,127 A, total tegangan modul TEG sebesar 15,713 volt dengan rata-rata 2,244 volt. Dari hasil energi listrik yang didapatkan bahwa untuk total energi listrik per 30 menit diantaranya total daya listrik TEG yang didapatkan dari simulasi yang jika di totalkan menghasilkan sebesar 3,250 watt dengan rata-rata 0,464 watt, total energi panas yang diserap 13.048,469 watt dengan rata-rata 1.864,067 watt, dan total efisiensi TEG sebesar 0,001669 atau 0,1669% dengan rata-rata 0,000238 atau 0,0238%, serta kapasitas pembangkitan listrik TEG dihasilkan selama sebulan sebesar 48,21 kWh.
3. Pada analisis ekonomi untuk penelitian ini dengan hanya menganalisa biaya investasi awal yang digunakan untuk mengetahui biaya keluaran dalam membangun sebuah sistem atau pembangkit yang sebesar Rp. 2.366.253,00, biaya *operational and maintenance* pembangkitan listrik TEG yang dikeluarkan sebesar Rp. 23.662,53. Dan untuk analisis kelayakannya dengan menganalisa

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

nilai *payback period* yang mana digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan agar investasi yang dikeluarkan kembali ke investor. Terlebih dahulu dengan menghitung jumlah *annual benefit* yang didapatkan dengan mengalikan kapasitas daya pembangkitan dan tariff per-kWh, maka *annual benefit* yang dikeluarkan selama satu tahun sebesar Rp. 860.640,420. Sehingga dari hasil perhitungan *annual benefit* digunakan untuk menghitung nilai *payback period*, yang mana nilai yang dihasilkan dari PBP adalah pada periode 2 tahun 8 bulan yang menunjukkan bahwasanya pada bulan tersebut *home industry* usaha baru ibu terbebas dari pembayaran tagihan listrik. Karena hasil dari PBP nilai yang didapatkan lebih kecil daripada proyek yang direncanakan dalam setahun maka layak dilaksanakan.

4. Dari kapasitas daya yang dihasilkan oleh pembangkit TEG selama sebulan yaitu sebesar 48,21 kWh, maka dapat dianalisis bahwa kapasitas daya listrik yang dihasilkan untuk memenuhi beban dari elektronik yang bisa dicover yaitu pada elektronik lampu dan kipas angin.

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk peneliti selanjutnya yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan model *heatsink* dalam simulasi *comsol multiphysics 5.3a*.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat membuat suatu eksperimen menggunakan termoelektrik generator (TEG) pada mesin *vacuum frying* untuk pembangkitan energi listrik.
3. Untuk penelitian selanjutnya dalam analisa ekonominya lebih spesifik untuk membangkitkan proyek dalam skala besar.

UIN SUSKA RIAU

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia, 2018, "Indonesia Dalam Angka 2018. Indonesia : Badan Pusat Statistik Indonesia", ISSN : 0215–2037. <https://www.bps.go.id/site/resultTab>
- [2] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2017, "Statistik Ketenagalistrikan Dalam Angka 2017", Edisi No. 31 Tahun Anggaran 2018, [www.djk.esdm.go.id](http://www.djk.esdm.go.id)
- [3] Harjanto, Nur. 2008. "Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional", Jurnal No. 01/ Tahun I. April 2008 ISSN 1979-2409
- [4] Spies, Peter. Mateu, Loreto. 2013. "Handbook of Energy Harvesting Power Supplies and Applications". International Standard Book. Number-13:978-981-4303-06-4 (eBook – PDF)
- [5] Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Riau, 2017, "Hasil Pendaftaran (Listing) Usaha / Perusahaan Sensus Ekonomi 2016 Provinsi Riau", Berita Resmi Statistik Provinsi Riau No. 25/05/14/Th. XVIII, 24 Mei 2017.
- [6] Larti. Susi, 2013, "Aktivitas Industri Kecil Keripik Nenas Dalam Meningkatkan Ekonomi Keluarga Di Desa Kualu Nenas Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar", Skripsi, Program Studi Pengembangan Masyarakat Islam, Fakultas Dakwah Dan Ilmu Komunikasi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [7] Sugiyanto, siswantoro. Soeadgihardo, 2014, "Pemanfaatan Panas Pada Kompor Gas LPG Untuk Pembangkitan Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik", Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM Jl Yacaranda Sekip Unit IV Sleman Yogyakarta, Jurnal Teknologi, Volume 7 Nomor 2, Desember 2014, 100-105
- [8] TEC Solid State Power Generator, "Specification of Thermoelectric Module TEG1-24111-6.0", 1-800-769-2395 N. America , 1-905-751-1362 World, [Tegtec@rogers.com](mailto:Tegtec@rogers.com) [Diakses 12 Oktober 2019]
- [9] Martin. Jaegle, 2008 " Simulating Thermoelectric Effects with Finite Element Analysis using COMSOL", Fraunhofer-Institute for Physical Measurement Techniques Heidenhofstrasse 8, 79110 Freiburg, Germany, [Martin.Jaegle@ipm.fraunhofer.de](mailto:Martin.Jaegle@ipm.fraunhofer.de)
- [10] M. Giatman, "Ekonomi Teknik" Jakarta: Raja Grafindo Persada, September 2005 [E-book] Tersedia: [Scholar.Google.co.id](http://Scholar.Google.co.id)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [11] Sumarjo. Jojo, Aa Santosa, 2017, “*Pemanfaatan Sumber Panas Pada Kompor Menggunakan 10 Generator Termoelektrik Dirangkai Secara Seri Untuk Aplikasi Lampu Penerangan*”, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl.HS.Ronggowaloyo, Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal) Volume 11 No. 2 Desember 2017, p-ISSN : 2088-9038, e-ISSN : 2549-9645, Website : [jurnal.umj.ac.id/index.php?journal=sintek](http://jurnal.umj.ac.id/index.php?journal=sintek)
- [12] Novianto. Toni Dwi, 2013, “*Optimasi Suhu dan Waktu Penggorengan Hampa (Vauum Frying) Keripik Talas (Colacasia Esculenta)*”, Skripsi, Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- [13] Tumberl. Nicolas, Kaseke. Hilda F.G, “*Uji Kinerja Alat Penggoreng Vakum Yang Diaplikasi Pada Buah Nangka (Artocarpus Integra)*”, Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado, Jalan Diponegoro No. 21-23 Manado, Jurnal Penelitian Teknologi Industri Vol. 7 No. 2 Desember 2015 : 129-148. ISSN No.2085-580X. email: [nicolastumbel@yahoo.co.id](mailto:nicolastumbel@yahoo.co.id)
- [14] Herminingsih. Hesti, 2017, “*Penerapan Inovasi Teknologi Mesin Penggorengan Vakum dan Pelatihan Olahan Keripik Buah di Kelompok Usaha Bersama (Kub) Ayu di Kelurahan Kranjingan Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember*”, Program Studi Agribisnis Fakultas MIPA UPBJJ UT Jember, Jurnal Ilmiah INOVASI, Vol. 17 No. 2 Edisi Mei - Agustus 2017, ISSN 1411-5549
- [15] F.D. Elinda Prima, Esti Utami, “*Thermocouple*”, Prodi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia Sekip Utara PO BOX BLS. 21 Yogyakarta 55281, Indonesia
- [16] Z.G Wan, Y.K.Ran, 2011, “*Review on Energy Harvesting and Energy Management for Sustainable Wireless Sensor Networks*”, School of Electronic Information, Jiangsu University of Science and Technology, China, 2Energy Research Institute @ Nanyang Technological University (ERI@N), University of Technology and Design (SUTD), Singapore, (grant no. SUTD-ZJU/RES/02/2011).
- [17] Ayu Fitriyah Wahyuni, 2017 “*Thermodynamics and Thermal Stress Analysis of Thermoelectric Generator With Geometry Variations*”, Final Project-TF 141581, Engineering Physics Departement, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 2017
- [18] Hadiansyah, Hadied. 2018, “*Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Pada Knalpot Motor*”, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta. Jl. Tanah Merdeka No.6 Pasar Rebo Jakarta Timur. Vol. 3, 2018 ISSN No. 2502-8782
- [19] D.M. Rowe, Ph.D.,D.Sc, 2006, “*Thermoelectrics Handbook Macro To Nano*”, Publisher in by CRC Press, Taylor & Francis Group, Printed in the United States of America on acid-free paper, ISBN 978-0-8493-2264-8

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [20] Ho Sung Lee, 2016, “*Thermoelectric Design And Materials*”, Western Michigan University, USA, Chichester : UK, Hoboken, NJ :Jhon Wiley & Sons, 2016, ISBN : 9781118848951
- [21] Muhammad, Fadil. 2017. “Konfigurasi Generator Termoelektrik Untuk Menghasilkan Daya Penggerak Kipas Pada Kompor Gasifikasi”, Departemen Teknik Mesin Dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor [dikutip dari Rowe (1995), Montecucco (2014), Negash (2017), Almeida (2013), Gazali (2009)]
- [22] Mohamad Ramadhani, ST. 2005. “Rangkaian Listrik”, laboratoria Sistem Elektronika. Jurusan Teknik Elektro. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung
- [23] Siti D.W, 2010 “Metode Analitik Dan Metode Numerik”, Jurusan Matematika. Universitas Jakarta. 27 Oktober 2010
- [24] Marcel Dannowski, Wieland Beckert, 2013 “3D – Model of Asymmetric Thermoelectric Generator Modules for High Temperature Applications”, Fraunhofer IKTS, 01277 Dresden, Winterbergstrasse 28, Excerpt From The Proceedings Of The 2013 COMSOL Conference In Rotterdam, mail: Marcel.Dannowski@ikts.fraunhofer.de
- [25] Khotimah Baim Khosnul, “Teori Simulasi Dan Pemodelan Konsep: Aplikasi Dan Terapan”, Wade Grub, Purwosari babadan ponorogo [Dikutip 15 Juli 2019]
- [26] COMSOL AB, 2009 COMSOL *Multiphysics Handbook* [Dikutip 15 Juli 2019]
- [27] Ibnu Fadilah, 2019, “*Rangkaian Daya*”, Skripsi, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Lektro, Institut Teknologi Indonesia, Banten [Dikutip 02 November 2019]
- [28] A. Willfabr, Erich Steiner, 2012, “*Model for Calculation of Design and Electrical Parameters of Thermoelectric Generators*”, Stuttgart Media University, Stuttgart, Germany, JPMTR 017 | 1205, UDC 655.2:621.362, Research paper, J. PRINT MEDIA TECHNOL. RES. 1(2012)4, 247-257, E-mails: willfahrt@hdm-stuttgart.de steiner@hdm-stuttgart.de
- [29] Rusdianto Gunawan, 2017, “Perancangan Alat dan Sistem *Smart Charger* Pada *Smartphone* Menggunakan Arduino”, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negari Alauddin Makassar.
- [30] A. Versie. *Global Sustainable Enterprise Standard*. Australia: Nationaal Duurzamheid Institute (NDI), Juli 2019 edisi ke-2. [E-book] Tersedia: gses-system.com [Diakses: 06 Desember 2019].
- [31] Prof. Dr. Sugiyono, 2007, “*Statistika Untuk Penelitian*”, Penerbit Alfabeta Bandung. 1. Gegerkalong Hilir Bandung 40153, ISBN:978-979-8433-10-8 [Dikutip 02 November 2019]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

[32] Prakasih, Ravi, Ajay Kumar, 2019, “*JEE Advanced Comprehensive Mathematic*”, Mc Graw Hill Education (India) Private Limited Chennai, IIT Jee eBooks: [www.crackjee.xyz](http://www.crackjee.xyz) [Diakses 01 Desember 2019]

[33] Mean Well, “15 W Single Output Switching Power Supply RS-15 Series”. [Diakses 10 Desember 2019]

[34] PT. PLN (Persero), 2016, “Pengaruh Manuver Jaringan dan Kesalahan Pengawatan Meter *Exim* Terhadap Perhitungan Susut Energi Distribusi Di PT. PLN (Persero) Area Klaten”, Universitas Gadjah Mada [Diakses 05 Desember 2019]

[35] “Bea Masuk dan Pajak Impor Belanja *Online*”, <https://indonesia.go.id/layanan/kepabean/ekonomi/bea-masuk-dan-pajak-impor-belanja-online> [Diakses 14 Desember 2019]

[36] Bukalapak[*online*], “Jual Kabel Eceran AWG22 × 2 (2 jalur pin) Serabut Merah Hitam 1 m”, <https://m.bukalapak.com/p/elektronik/elektronik-lainnya/8piefr-jual-kabel-eceran-awg22x2-serabut-merah-hitam-1m> [Diakses 10 Desember 2019]

## LAMPIRAN A

### Produksi Konsumsi Listrik

#### A. Produksi Konsumsi Listrik

Tabel 4.1 Profil Beban

No	Nama Peralatan Listrik	Harga per-kWh	Daya (watt)	Durasi (Jam)	Total Daya Beban (Wh)	Total Daya Beban (kWh)
1	Bohlam	1467,28	18	12	216 Wh	0,216 kWh
2	Bohlam	1467,28	18	12	216 Wh	0,216 kWh
3	Bohlam	1467,28	18	12	216 Wh	0,216 kWh
4	Bohlam	1467,28	18	12	216 Wh	0,216 kWh
5	Bohlam	1467,28	18	12	216 Wh	0,216 kWh
6	Mesin Vacuum Frying	1467,28	800	6	4800 Wh	4,8 kWh
7	Mesin Vacuum Frying	1467,28	800	6	4800 Wh	4,8 kWh
8	Mesin Spinner	1467,28	250	3	750 Wh	0,75 kWh
9	Pompa Air	1467,28	300	6	1800 Wh	1,8 kWh
10	Pompa Air	1467,28	300	6	1800 Wh	1,8 kWh
11	Kipas Angin	1467,28	30	6	180 Wh	0,18 kWh
12	Kipas Angin	1467,28	30	6	180 Wh	0,18 kWh
13	Kipas Angin	1467,28	50	6	300 Wh	0,3 kWh
14	Sealer	1467,28	250	3	750 Wh	0,75 kWh
15	Sealer	1467,28	250	3	750 Wh	0,75 kWh
					17190 Wh	17,94 kWh

Berikut cara perhitungan konsumsi daya listrik per-kWh nya dapat menggunakan rumus pada persamaan (2.12) :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



$$\text{kWh} = \frac{\text{daya pada perangkat elektronik} \times \text{durasi pemakaian}}{1000}$$

Perhitungan Konsumsi Listrik dalam sehari

a. Bohlam

$$\text{kWh} = \frac{18 \text{ watt} \times 12 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,216 \text{ kWh}$$

b. Bohlam

$$\text{kWh} = \frac{18 \text{ watt} \times 12 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,216 \text{ kWh}$$

c. Bohlam

$$\text{kWh} = \frac{18 \text{ watt} \times 12 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,216 \text{ kWh}$$

d. Bohlam

$$\text{kWh} = \frac{18 \text{ watt} \times 12 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,216 \text{ kWh}$$

e. Bohlam

$$\text{kWh} = \frac{18 \text{ watt} \times 12 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,216 \text{ kWh}$$

f. Mesin *Vacuum Frying*

$$\text{kWh} = \frac{800 \text{ watt} \times 6 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 4,8 \text{ kWh}$$

g. Mesin *Vacuum Frying*

$$\text{kWh} = \frac{800 \text{ watt} \times 6 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 4,8 \text{ kWh}$$

h. Mesin *Spinner*

$$\text{kWh} = \frac{250 \text{ watt} \times 3 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,75 \text{ kWh}$$

i. Pompa Air

$$\text{kWh} = \frac{300 \text{ watt} \times 6 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 1,8 \text{ kWh}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

j. Pompa Air

$$\text{kWh} = \frac{300 \text{ watt} \times 6 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 1,8 \text{ kWh}$$

k. Kipas Angin

$$\text{kWh} = \frac{30 \text{ watt} \times 6 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,18 \text{ kWh}$$

l. Kipas Angin

$$\text{kWh} = \frac{30 \text{ watt} \times 6 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,18 \text{ kWh}$$

m. Kipas Angin

$$\text{kWh} = \frac{50 \text{ watt} \times 6 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,3 \text{ kWh}$$

n. Sealer

$$\text{kWh} = \frac{250 \text{ watt} \times 3 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,75 \text{ kWh}$$

o. Sealer

$$\text{kWh} = \frac{250 \text{ watt} \times 3 \text{ jam}}{1000}$$

$$\text{kWh} = 0,75 \text{ kWh}$$

Sehingga total kebutuhan konsumsi energy listrik perhari sebesar,

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14}$$

$$P_{\text{total}} = (0,216 + 0,216 + 0,216 + 0,216 + 0,216 + 4,8 + 4,8 + 1,8 + 1,8 + 0,18 + 0,18 + 0,3 + 0,75 + 0,75) \text{ kWh}$$

$$P_{\text{total}} = 17,94 \text{ kWh}$$

## LAMPIRAN B

### Data Spesifikasi

#### A. Spesifikasi Mesin *Vacuum Frying*

Tabel Spesifikasi Mesin *Vacuum Frying*

Spesifikasi	Unit
Tipe Mesin <i>Vacuum Frying</i>	Mesin <i>Vacuum Frying</i> ADR-MVF-35
Kapasitas	3,5 Kg
Dimensi Tabung Penggorengan	38 cm × 70 cm × 53 cm
Dimensi Bak Air	122 cm × 122 cm × 65 cm
Dimensi Total	122 cm × 122 cm × 118 cm
Asumsi Listrik	800 Watt
Tegangan	220 volt
Bahan Bakar	LPG
Bahan Tabung Penggoreng	<i>Stainless Steel</i>
Grade Tabung Penggoreng	3 mm
Tekanan <i>Vacuum</i>	65-76 cmHg

Perhitungan peletakkan TEG yang dihitung dari luasan mesin *vacuum frying* :  
Dimensi tabung penggorengan yaitu 38 cm × 70 cm × 53 cm

$$r = \frac{0,70 \text{ m}}{2} = 0,35 \text{ m}$$

$$A_{\text{mesin}} = 2\pi \times r \times t$$

$$A_{\text{mesin}} = 2 \times 3,14 \times 0,35 \text{ m} \times 0,53 \text{ m}$$

$$A_{\text{mesin}} = 1,165 \text{ m}^2$$

Karena digunakan setengah dari luasan mesin *vacuum* maka luasan mesin menjadi  
yaitu  $A_{\text{mesin}} = 0,583 \text{ m}^2$

B. Spesifikasi Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel Spesifikasi Modul TEG1-24111-6.0[8]

Spesifikasi	Unit
Type	TEG1-24111-6.0
Hot Side Temperature (°C)	300 °C
Cold Side Temperature (°C)	30 °C
Open Circuit Voltage (Voc)	17,7 V
Matched Load Output Voltage (V)	8,8 V
Matched Load Output Current (A)	3 A
Matched Load Output Power (W)	17,6 W
Heat Flow Across The Module (W)	≈ 301 W
Heat Flow Density (W/cm <sup>2</sup> )	≈ 9,6 W/cm <sup>2</sup>
AC Resistance (Ω) Measured Under 27 °C at 1000 Hz	2,3 ~ 2,5
Size	56 mm × 56 mm
n	126 thermocouple
Material	Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> Alloy

Diketahui : Dimensi TEG = 56 mm × 56 mm  
n = 126 modul

Luas penampang termoelektrik

$$A_{\text{teg}} = \left(\frac{56 \text{ mm}}{1000}\right)^2 = 0,003136 \text{ m}^2$$

Jadi untuk menghitung jumlah TEG yang akan digunakan :

$$N = \frac{A_{\text{mesin}}}{A_{\text{teg}}} = \frac{0,583 \text{ m}^2}{0,003136 \text{ m}^2} = 185 \text{ modul}$$

Pada TEG ini nilai *seebeck*, resistivitas listrik dan *electrical resistance* belum diketahui, dari tabel spesifikasi diatas dapat dihitung nilai *seebeck* dan hambatan dalam.

a. Luas penampang termoelemen

$$A_{\text{leg}} = \frac{A_{\text{teg}}}{8 \times n} = \frac{0,003136 \text{ m}^2}{8 \times 126} = 3,11 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

a. Koefisien *Seebeck* ( $\alpha$ )

Koefisien *Seebeck* ( $\alpha$ ) merupakan besaran non-linier sebagai fungsi dari temperatur dan bergantung pada bahan dan stuktur molekul material.

$$\alpha = \frac{17,7 \text{ volt}}{(573 \text{ K} - 303 \text{ K}) \times 126}$$

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\alpha = 5,203 \times 10^{-4} \text{ V/K}$$

b. Resistivitas Listrik ( $\rho$ )

Resistivitas listrik ( $\rho$ ) disebut juga dengan tahanan merupakan hambatan listrik dari bahan konduktor persatuan panjang.

$$\rho = \frac{4 \left( \frac{3,11 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{0,00244 \text{ m}} \right) \times 17,6 \text{ W}}{126 \times (2A)^2}$$

$$\rho = 1,78 \times 10^{-4} \Omega\text{m}$$

c. *Electrical resistance (R)*

*Electrical resistance (R)* merupakan

$$R = \frac{1,78 \times 10^{-4} \Omega\text{m} \times 0,00244 \text{ m}}{3,11 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 0,13965 \Omega$$

D Tabel Perhitungan Material *Bismuth Telluride*

Material <i>Bismuth Telluride</i>	Unit
$A_{\text{teg}}$	0,003136 m <sup>2</sup>
$A_{\text{leg}}$	$3,11 \times 10^{-6}$ m <sup>2</sup>
N	185 modul
A	$5,203 \times 10^{-4}$ V/K
$\rho$	$1,78 \times 10^{-4}$ $\Omega\text{m}$
R	0,13965 $\Omega$

D Spesifikasi Adaptor *Power Supply*.

Spesifikasi		
<i>Model</i>	RS-15-3.3	
<i>OUTPUT</i>	<i>DC Voltage</i>	3,3 V
	<i>Rated Current</i>	3 A
	<i>Current Range</i>	0 ~ 3 A
	<i>Rated Power</i>	9,9 W
	<i>Ripple &amp; Noise (max.)</i>	80mVp-p
	<i>Voltage Adj. Range</i>	2,9~3,6 V
	<i>Voltage Tolerance</i>	$\pm 3.0\%$
	<i>Line Regulation</i>	$\pm 0.5\%$
	<i>Load Regulation</i>	$\pm 2.0\%$

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

	<i>Setup, Rise Time</i>	1000 ms, 30 ms/230VAC 1000 ms, 30 ms/115VAC <i>at full load</i>
	<i>Hold Up Time (Typ.)</i>	70 ms/230VAC 12ms/115VAC <i>at full load</i>
	<i>Voltage Range</i>	85 ~ 264VAC 120 ~ 370VDC
	<i>Frequency Range</i>	47 ~ 63 Hz
	<i>Efficiency (Typ.)</i>	77 %
	<i>AC Current (Typ.)</i>	0.35 A/115VAC 0.25A/230VAC
	<i>Inrush Current (Typ.)</i>	<i>Cold start</i> 65A/230VAC
	<i>Leakage Current</i>	<2 mA/240VAC

## LAMPIRAN C

### Hasil Energi Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

#### A. Energi Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

##### Tegangan Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel a. Tegangan Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

No	$T_c$	$T_h$	$V_{teg}$
1	303 K	313,20 K	0,582 volt
2	303 K	351,70 K	1,216 volt
3	303 K	389,50 K	1,839 volt
4	303 K	418,30 K	2,314 volt
5	303 K	452,80 K	2,884 volt
6	303 K	467,50 K	3,126 volt
7	303 K	505,40 K	3,752 volt
Total			15,713 volt
Rata-rata			2,244 volt

#### 2. Arus Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel b. Arus Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

No	$T_c$	$T_h$	$I_{teg}$
1	303 K	313,20 K	0,033 A
2	303 K	351,70 K	0,069 A
3	303 K	389,50 K	0,105 A
4	303 K	418,30 K	0,132 A
5	303 K	452,80 K	0,164 A
6	303 K	467,50 K	0,178 A
7	303 K	505,40 K	0,213 A
Total			0,894 A
Rata-rata			0,127 A

### 3. Daya Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel c. Daya Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

No	$T_c$	$T_h$	$P_{teg}$
1	303 K	313,20 K	0,027 W
2	303 K	351,70 K	0,114 W
3	303 K	389,50 K	0,258 W
4	303 K	418,30 K	0,408 W
5	303 K	452,80 K	0,632 W
6	303 K	467,50 K	0,743 W
7	303 K	505,40 K	1,068 W
Total			3,250 W
Rata-rata			0,464 W

### 4. Energi yang Diserap Modul Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel d. Energi Panas yang Diserap pada Modul Termoelektrik Generator (TEG)

No	$P_{maksimum\ power}$	$\eta_{maksimum\ power}$	$Q_h$
1	4,894 W	0,039	125,487 W
2	21,007 W	0,041	512,365 W
3	47,780 W	0,043	1.111,162 W
4	75,445 W	0,044	1.714,659 W
5	116,99 W	0,046	2.543,260 W
6	137,41 W	0,047	2.923,617 W
7	197,66 W	0,048	4.117,916 W
Total	601,186 W	0,308	13.048,469 W
Rata-rata	85,883 W	0,044	1.864,067 W



### 5. Efisiensi Modul Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel f. Efisiensi Modul Termoelektrik Generator (TEG)

No	$T_c$	$T_h$	$\eta_{teg}$ (%)
1	303 K	313,20 K	0,000215
2	303 K	351,70 K	0,000223
3	303 K	389,50 K	0,000232
4	303 K	418,30 K	0,000238
5	303 K	452,80 K	0,000249
6	303 K	467,50 K	0,000254
7	303 K	505,40 K	0,000259
Total			0,001669
Rata-rata			0,000238

### 6. Hasil Rangkuman Energi Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel g. Energi Listrik Modul Termoelektrik Generator (TEG)

$T_c$ (K)	$T_h$ (K)	$V_{teg}$ (volt)	$I_{teg}$ (A)	$P_{teg}$ (W)	$Q_h$ (W)	$\eta_{teg}$ (%)
303	313,20	0,582 volt	0,033 A	0,027 W	125,487 W	0,000215
303	351,70	1,216 volt	0,069 A	0,114 W	512,365 W	0,000223
303	389,50	1,839 volt	0,105 A	0,258 W	1.111,162 W	0,000232
303	418,30	2,314 volt	0,132 A	0,408 W	1.714,659 W	0,000238
303	452,80	2,884 volt	0,164 A	0,632 W	2.543,260 W	0,000249
303	467,50	3,126 volt	0,178 A	0,743 W	2.923,617 W	0,000254
303	505,40	3,752 volt	0,213 A	1,068 W	4.117,916 W	0,000259
Total		15,713 volt	0,894 A	3,250 W	13.048,469 W	0,001669
Rata-rata		2,244 volt	0,127 A	0,464 W	1.864,067 W	0,000238

- Hak Cipta Diindungi Undang-Undang
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## B. Pembangkitan Daya Listrik Termoelektrik Generator (TEG)

### 1. Total Daya Listrik TEG

#### a. Total Waktu Saat Mesin *Vacuum Frying* Beroperasi

Tabel 4.1. Total waktu untuk mesin *vacuum frying* beroperasi

Mesin <i>vacuum</i> beroperasi dalam sehari	Mesin <i>Vacuum</i> I	3 Jam × 2 kali proses	6 jam
	Mesin <i>Vacuum</i> II	3 Jam × 2 kali proses	6 jam
Total waktu untuk 2 mesin beroperasi			12 jam

Dari daya listrik yang dihasilkan dari modul TEG sebesar 6,501 W atau 0,0006501 kW yang didapatkan dari perhitungan *comsol multiphysics* 5.3a. Dikarenakan mesin beroperasi selama 3 jam untuk durasi 2 kali, maka energi yang dihasilkan sebesar 0,039 W. Jika menghitung total energi menggunakan 2 mesin *vacuum frying* yaitu selama 12 jam dalam sehari. Maka untuk menghitung total energi yang dihasilkan dari mesin saat beroperasi yaitu dari jumlah total waktu mesin beroperasi dikali dengan daya listrik TEG.

#### b. Total energi listrik = total waktu untuk 2 mesin × $P_{\text{rata-rata TEG}}$

$$\text{Total energi listrik} = 12 \text{ Jam} \times 0,000464 \text{ kW}$$

$$\text{Total energi listrik} = 0,00557 \text{ kWh}$$

Dari total energi pada mesin *vacuum frying* yang dihasilkan dari 2 mesin terhitung menghasilkan total energi listrik sebesar 0,00557 kWh selama sehari.

### 2. Kapasitas Pembangkitan Daya Listrik Generator Termoelektrik (TEG)

$$W_{\text{total daya}} = \eta_{\text{adaptor}} \times \text{total energi listrik} \times \text{jumlah TEG}$$

$$W_{\text{total daya}} = 78\% \times 0,00557 \text{ kWh} \times 370$$

$$W_{\text{total daya}} = 1,607 \text{ kWh}$$

Didapatkan untuk kapasitas pembangkitan daya listrik TEG dalam sehari yaitu 1,607 kWh. Sehingga untuk kapasitas pembangkitan daya listrik dalam sebulan 1,607 kWh × 30 hari = 48,21 kWh

### 3. Kapasitas Daya Listrik yang dihasilkan Memenuhi Beban Konsumsi Listrik

Dari kapasitas daya yang dihasilkan oleh pembangkit TEG selama sebulan yaitu sebesar 48,21 kWh, sehingga dapat dianalisis bahwa kapasitas daya listrik yang dihasilkan dapat untuk memenuhi beban dari elektronik yang bisa dicover pada seluruh perangkat elektronik. Untuk tabel profil beban dapat dilihat pada tabel 4.1 diantaranya :

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampu	= (0,216 × 5 lampu)	= 1,08 kWh
Mesin <i>Vacuum</i>	= (4,8 × 2 mesin)	= 9,6 kWh
Mesin <i>Spinner</i>	= (0,75 × 2 mesin)	= 1,5 kWh
Pompa Air	= (1,8 × 2 pompa air)	= 3,6 kWh
Kipas Angin	= (0,18 × 2 kipas angin)	= 0,36 kWh
Kipas Angin	= (0,3 × 1 kipas angin)	= 0,3 kWh
<i>Sealer</i>	= (0,75 × 2 <i>sealer</i> )	= 1,5 kWh

Total beban listrik pada perangkat elektronik diatas yaitu sebesar

Dimana untuk kapasitas pembangkit daya listrik TEG yang dihasilkan sebesar 48,21 kWh, maka dari beban elektronik yang ada di *home industry* tersebut yang bisa di *cover* untuk memenuhi beban listrik yaitu pada lampu dan kipas angin.

Lampu	= (0,216 × 5 buah lampu)	= 1,08 kWh
Kipas angin	= (0,18 × 2 buah kipas angin)	= 0,36 kWh
Total	= 1,08 kWh + 0,36 kWh	= 1,44 kWh × 30 hari = 43,2 kWh.

## LAMPIRAN D

### Perhitungan Biaya

#### 1. Biaya Investasi Awal

Tabel a. Biaya Investasi Awal Pembangkitan Listrik Termoelektrik Generator (TEG)

No	Nama Barang	Harga Per Unit (Rp)	Jumlah	Total Harga (Rp)
1	TEG1-24111-6.0	\$ 60.00 USD	370 modul	Rp. 845.253,00
2	<i>Thermal compound grease pasta</i>	Rp. 7.000,00	4 unit	Rp. 28.000,00
3	<i>Heatsink 5 sirip 30 cm ukuran 30 × 9,5 × 2,5 cm</i>	Rp. 30.000,00	18 unit	Rp. 750.000,00
4	Kabel serabut merah hitam AWG22 × 2 (2 jalur pin) 1 m	Rp. 6.000,00	8 m	Rp. 48.000,00
5	Adaptor <i>Power Supply</i> RS-15-3.3	Rp. 185.000,00	1 unit	Rp. 185.000,00
6	kWh Meter <i>Export Import</i>	Rp. 510.000,00	1 unit	Rp. 510.000,00
Total				Rp. 2.366.253,00

Adanya biaya investasi awal yang digunakan untuk mengetahui biaya keluaran untuk membangun sebuah sistem atau pembangkit. Pada penelitian ini biaya investasi awal akan dilakukan untuk membuat suatu pembangkit listrik TEG yang berdasarkan dari biaya pembelian komponen TEG berupa modul TEG, kabel, *thermal paste*, *heatsink*, dan adaptor. Dimana untuk pembelian TEG1-24111-6.0 secara ekspor akan dikenakan biaya pajak bea cukai dan NPWP sesuai dengan berdasarkan barang yang dibeli lebih besar atau sebaliknya. Jika FOB >\$100 USD maka barang tersebut akan dikenakan bea cukai sebesar 7,5% dan NPWP 10 % (jika tidak ada NPWP maka 20%). Sebaliknya jika FOB <\$100 USD maka

Barang tersebut bebas bea cukai masuk dan pajak dalam rangka impor[35]. Harga TEG1-11116.0 untuk 370/pcs sekitar \$45.00 USD dengan biaya pengiriman \$15.00. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned} \text{1.} \quad & \text{Harga TEG} = \$45.00 + \$15.00 = \$60.00 \text{ USD} \\ & \text{Harga TEG} = \$60.00 \times \text{Rp. } 14.087,55 = \text{Rp. } 845.253,00 \end{aligned}$$

Dikarenakan jumlah harga TEG <\$100 USD maka barang tersebut bebas bea cukai masuk dan pajak dalam rangka impor. Berikut adalah beberapa komponen yang dibutuhkan dan diperlukan untuk membuat suatu pembangkit listrik.

#### 2. Biaya *Operational and Maintenance*

Adapun biaya operasional (O) dan pemeliharaan (M) terhitung dari biaya investasi awal untuk membuat suatu pembangkitan listrik dari TEG adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{O\&M} &= 1 \% \times \text{Total biaya investasi awal} \\ \text{O\&M} &= 1 \% \times \text{Rp. } 2.366.253,00 \\ \text{O\&M} &= \text{Rp. } 23.662,53 \end{aligned}$$

Dengan demikian, maka biaya *operating* dan M atau biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan dan operasional selama satu tahun Rp. 23.662,53.

#### 3. *Annual Benefit*

$$\text{Annual benefit} = \text{Kapasitas daya listrik sebulan} \times \text{tarif per-kWh} \times 1 \text{ tahun}$$

$$\text{Annual benefit} = 1,607 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.467,28 \times 365 \text{ hari}$$

$$\text{Annual benefit} = \text{Rp. } 860.640,420$$

Dengan demikian, maka biaya *annual benefit* selama satu tahun sebesar Rp. 860.640,420. Sehingga hasil perhitungan dari *annual benefit* digunakan untuk menghitung nilai *payback period*.

#### 4. *Payback period* (PBP)

Untuk melakukan perhitungan *payback period* digunakan persamaan (2.34) berikut:

$$\text{Payback period} = \frac{\text{investasi awal}}{\text{Annual Benefit}} \times \text{tahun}$$

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Investasi awal}}{\text{Biaya keuntungan} - \text{Biaya operasional}} \times \text{tahun}$$

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Rp. } 2.366.253,00}{\text{Rp. } 860.640,420 - \text{Rp. } 23.662,53} \times \text{tahun}$$

$$\text{Payback period} = 2,8 \text{ tahun}$$



Jadi, dari perhitungan tersebut dihasilkan *payback period* (PBP) sebesar 2,8 tahun pada periode yang ke 2 tahun 8 bulan menunjukkan bahwasanya pada bulan tersebut *home industri* usaha baru ibu terbebas dari pembayaran tagihan listrik. Karena hasil dari  $PBP < umur$  ekonomis proyek yang telah direncanakan, maka layak untuk dilaksanakan.

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

**Dara Rulianti Amanda**, lahir di Tembilahan pada 30 November 1996 anak kedua dari dua bersaudara dari Bapak Rudy dan Ibu Libbibabetti yang beralamat di Komplek PT. Pulau Sambu Kuala Enok, Kec. Tanah Merah, Kab. Indragiri Hilir, Riau. Penulis dapat dihubungi melalui :

Email : [dara.rulianti01@gmail.com](mailto:dara.rulianti01@gmail.com)

Hp : +6285265934915



Pengalaman pendidikan yang pernah ditempuh penulis dimulai dari SD Negeri 005 Tanah Merah pada tahun 2003-2009 dan dilanjutkan di SMP Negeri 01 Tanah Merah pada tahun 2009-2012, kemudian melanjutkan di SMA Negeri 01 Tanah Merah pada tahun 2012-2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan kuliah di perguruan tinggi UIN SUSKA RIAU Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Energi dengan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Analisis Teknis dan Ekonomis Termoelektrik Generator (TEG) Dengan Memanfaatkan Panas Mesin *Vacuum Frying* Sebagai *Harvesting* Energi Listrik (Studi Kasus : Desa Kualu Nenas).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.