



**PEMANFAATAN ENERGI PANAS TERBUANG TUNGKU  
PANDAI BESI SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK  
ALTERNATIF MENGGUNAKAN GENERATOR  
TERMOELEKTRIK (TEG)**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Agus Purwanto**

**NIM 151810201037**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**



**PEMANFAATAN ENERGI PANAS TERBUANG TUNGKU  
PANDAI BESI SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK  
ALTERNATIF MENGGUNAKAN GENERATOR  
TERMOELEKTRIK (TEG)**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S-1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

**Agus Purwanto**

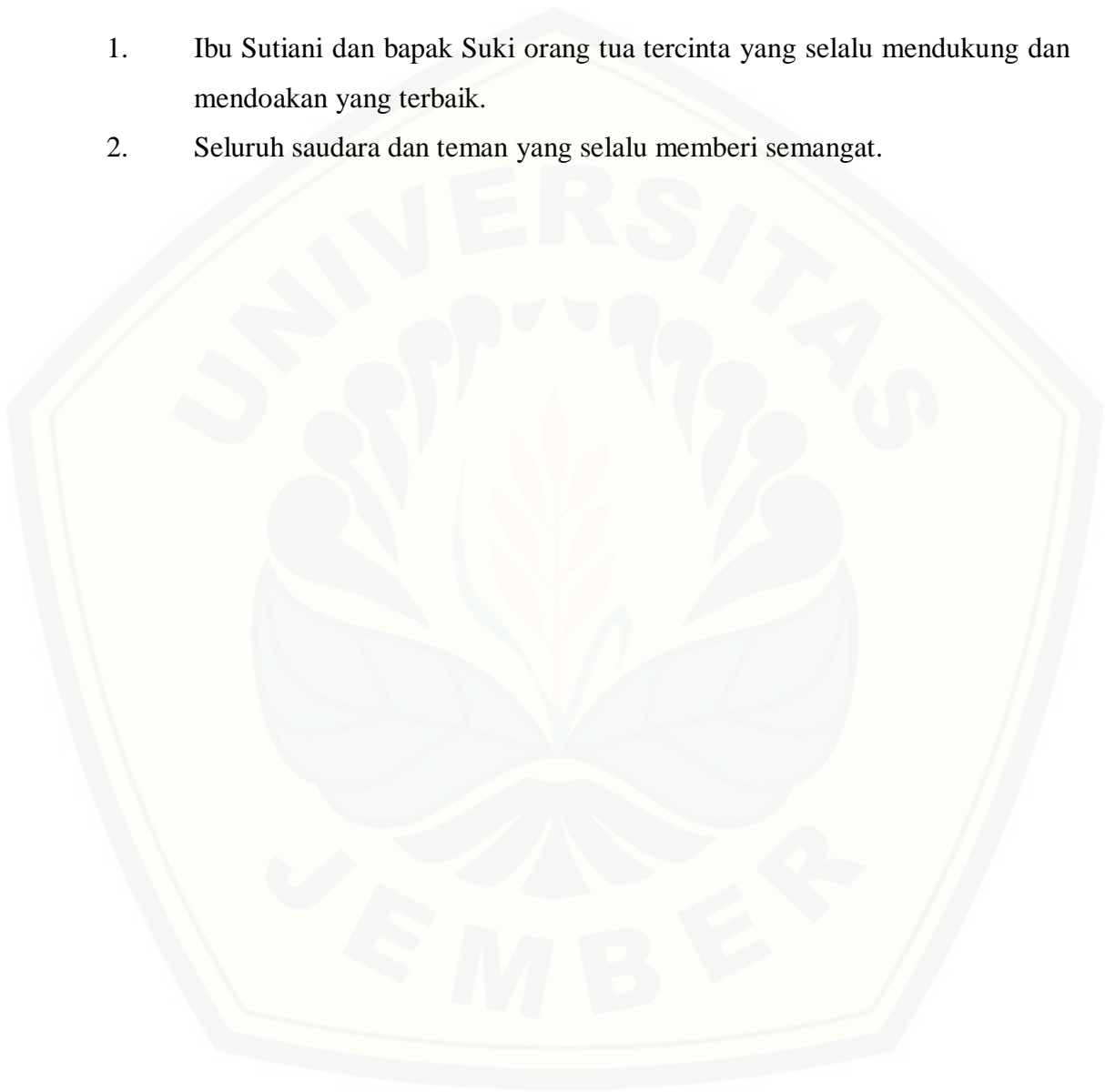
**NIM 151810201037**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibu Sutiani dan bapak Suki orang tua tercinta yang selalu mendukung dan mendoakan yang terbaik.
2. Seluruh saudara dan teman yang selalu memberi semangat.



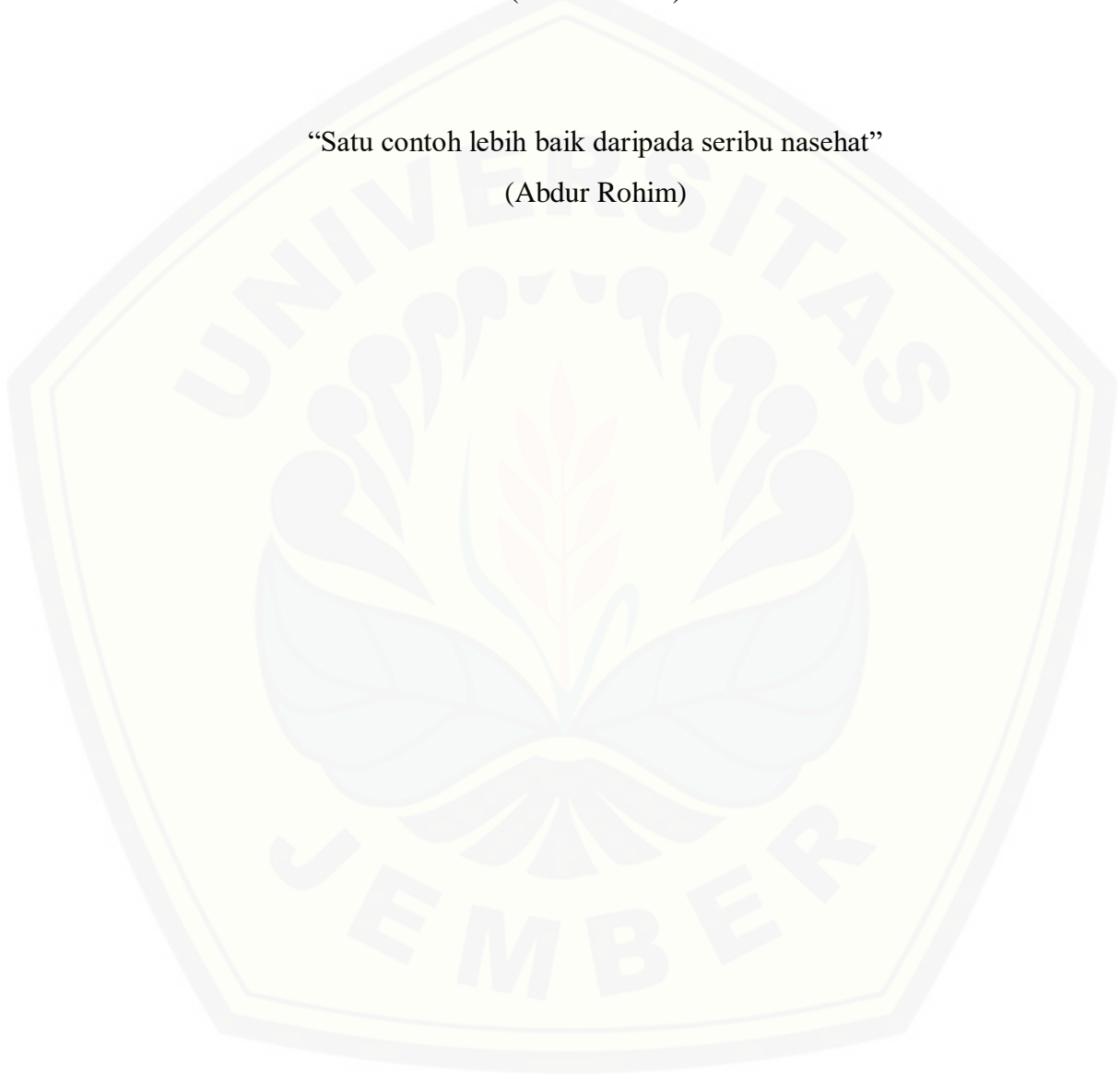
**MOTTO**

“ Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak memanfaatkannya menggunakan untuk memotong, ia akan memotongmu (menggilasmu)”

(H.R. Muslim)

“Satu contoh lebih baik daripada seribu nasehat”

(Abdur Rohim)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agus Purwanto

NIM : 151810201037

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Tungku Pandai Besi Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik (TEG)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Januari 2020

Yang menyatakan,

Agus Purwanto

NIM 151810201037

**SKRIPSI**

**PEMANFAATAN ENERGI PANAS TERBUANG TUNGKU  
PANDAI BESI SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK  
ALTERNATIF MENGGUNAKAN GENERATOR  
TERMOELEKTRIK (TEG)**

Oleh :

**Agus Purwanto**

**NIM 151810201054**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Misto, M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Tungku Pandai Besi sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik (TEG)” karya Agus Purwanto telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam Universitas Jember

**Tim Penguji:**

Ketua,

Anggota I,

Ir. Misto, M.Si.  
NIP. 195911211991031002

Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.  
NIP. 196912251999031001

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.  
NIP. 197301152000031001

Wenny Maulina, S.Si., M.Si.  
NIP. 198711042014042001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.

NIP 195910091986021001

## RINGKASAN

**Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Tungku Pandai Besi Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik (TEG);** Agus Purwanto, 151810201037; 2020: 35 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Listrik menjadi kebutuhan utama bagi manusia dalam melakukan suatu pekerjaan dalam kehidupannya. Ketersediaan energi listrik umumnya tidak seimbang dengan yang dibutuhkan masyarakat, khususnya pada daerah-daerah tertentu seperti didaerah terpencil. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai macam sumber, salah satunya dengan memanfaatkan energi panas sebagai sumber energi alternatif yang kemudian dikonversi menjadi listrik menggunakan generator termoelektrik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan suatu desain konversi yang dapat digunakan untuk menerapkan fungsi generator termoelektrik sebagai konversi energi panas menjadi listrik dengan baik. Desain konversi energi panas menjadi energi listrik diterapkan pada tungku pandai besi yang hasil produksi listriknya dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam skala kecil. Termoelektrik ini bekerja berdasarkan adanya beda temperatur yang terjadi antara sisi panas dan sisi dingin keping generator termoelektrik.

Desain terdiri dari tiga sudut pandang, yaitu ukuran, bentuk, serta bahan yang digunakan. Penentuan desain konversi ini dilakukan pada segi bentuk yaitu dengan variasi sudut plat aluminium yang dibengkokkan dengan besar sudut  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ , dan  $180^\circ$ . Pengukuran tegangan output generator termoelektrik dilakukan pada selang waktu tertentu dimana nilai tegangan berada dalam keadaan konstan. Hasil pengukuran tegangan setiap variasi sudut dibuat grafik, sehingga dapat membandingkan nilai tegangan dari setiap desain yang digunakan. Pengukuran output generator termoelektrik juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap nilai tegangan dan arus hasil konversi. variasi jarak yang digunakan terdiri dari tiga variasi yaitu 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Desain paling baik ditunjukkan oleh nilai tegangan konversi terbesar yang dihasilkan oleh termoelektrik.

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan nilai tegangan terbaik (terbesar) dihasilkan pada desain dengan besar sudut  $120^\circ$  yang menghasilkan tegangan rata-rata sebesar  $(0,95 \pm 0,04)$  V, sedangkan pada sudut  $150^\circ$  dan  $180^\circ$  masing-masing menghasilkan tegangan sebesar  $(0,79 \pm 0,02)$  V dan  $(0,49 \pm 0,03)$  V. Hal ini terjadi karena pada desain dengan sudut  $120^\circ$  tampaknya dapat menyerap radiasi panas lebih besar sehingga beda temperatur yang dihasilkan juga semakin besar yang berakibat tegangan output termoelektrik juga besar. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa desain dengan sudut  $120^\circ$  dapat menghasilkan konversi energi panas menjadi energi listrik lebih baik. Pada variasi jarak didapatkan hasil



tegangan dan arus terbesar terjadi pada jarak 10 cm dengan besar tegangan dan arus rata-rata masing-masing sebesar  $(3,37 \pm 0,06)$  V dan  $(1,02 \pm 0,07)$  A. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak termoelektrik terhadap sumber panas maka beda temperatur pada termoelektrik akan semakin kecil sebagai akibat semakin sedikitnya panas yang dapat diserap termoelektrik, sehingga kecilnya beda temperatur ini menyebabkan nilai keluaran yang dihasilkan akan semakin kecil.



## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Tungku Pandai Besi sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik (TEG)” sesuai waktu yang telah direncanakan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

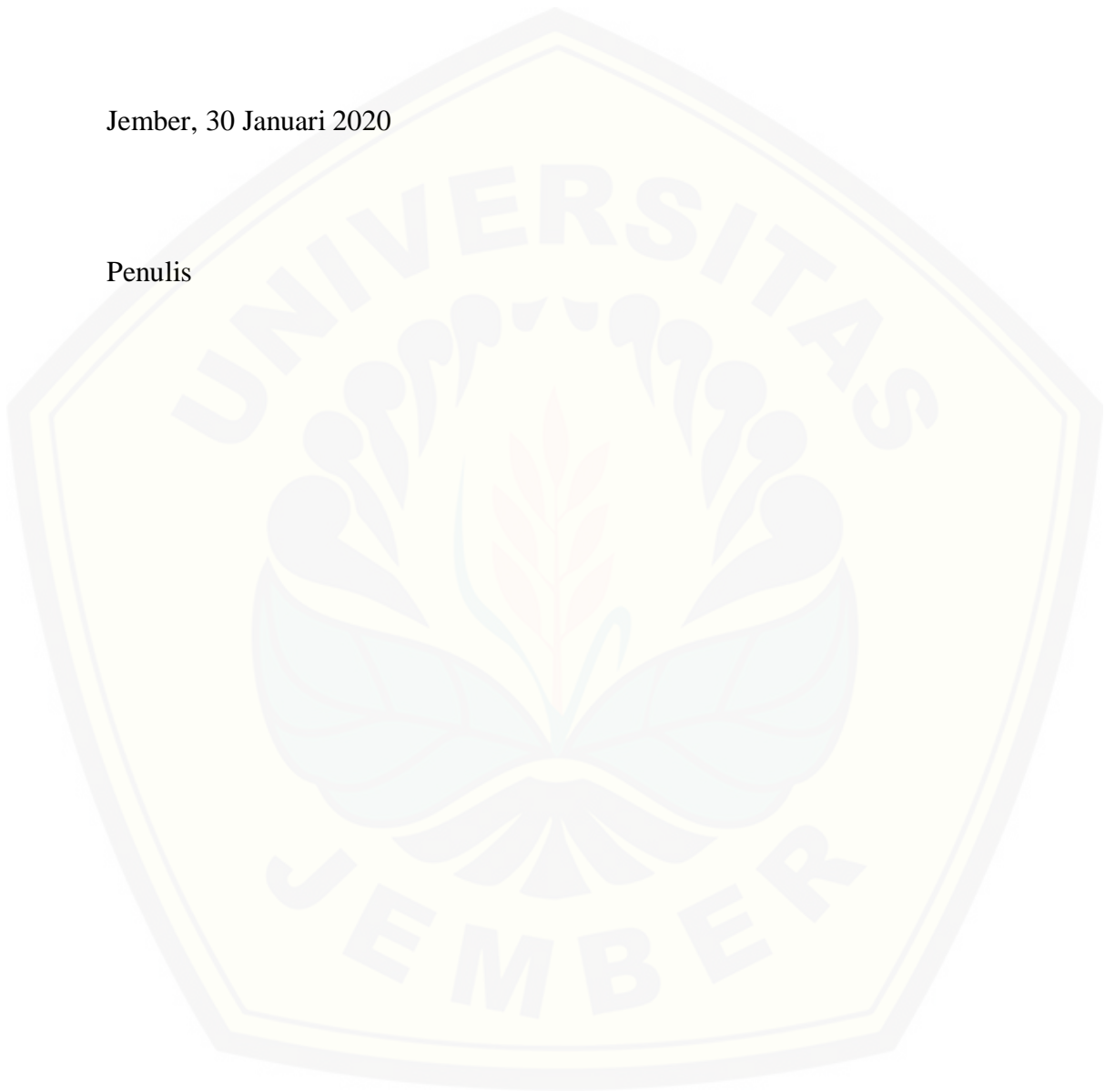
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Misto M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran serta ilmu yang sangat bermanfaat dalam penulisan skripsi ini;
2. Bapak Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Ibu Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II, yang telah memberikan nasehat serta kritik dan saran untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini;
3. Bapak Supriadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa di jurusan Fisika;
4. Sahabat-sahabat saya : Khoirul Anam, Sodik, Robi Cahyono, Ismatul Izzah Agustin Fitriani, Bayu Segara, yang selalu menemani dalam suka dan duka;
5. Teman-teman saya : Abrori Ali Akbar, Taqrub Iyyaka, M. Arifudin Syahrul Maulud, Rochmad Hidayat, Abdul Basri, Fathur Rohman, Pipin Okvitasari, Arik Irawati, Firman Wahidi, Frendy Wahyudi, Nurifa Yuni Lensia, Faridatur Riskiya dan seluruh mahasiswa fisika angkatan 2015, yang telah mendukung dan membantu saya dalam keadaan apapun;
6. Keluarga besar Grup Pandawa 181 yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan studi;
7. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan di bidang Fisika maupun bidang lainnya.

Jember, 30 Januari 2020

Penulis



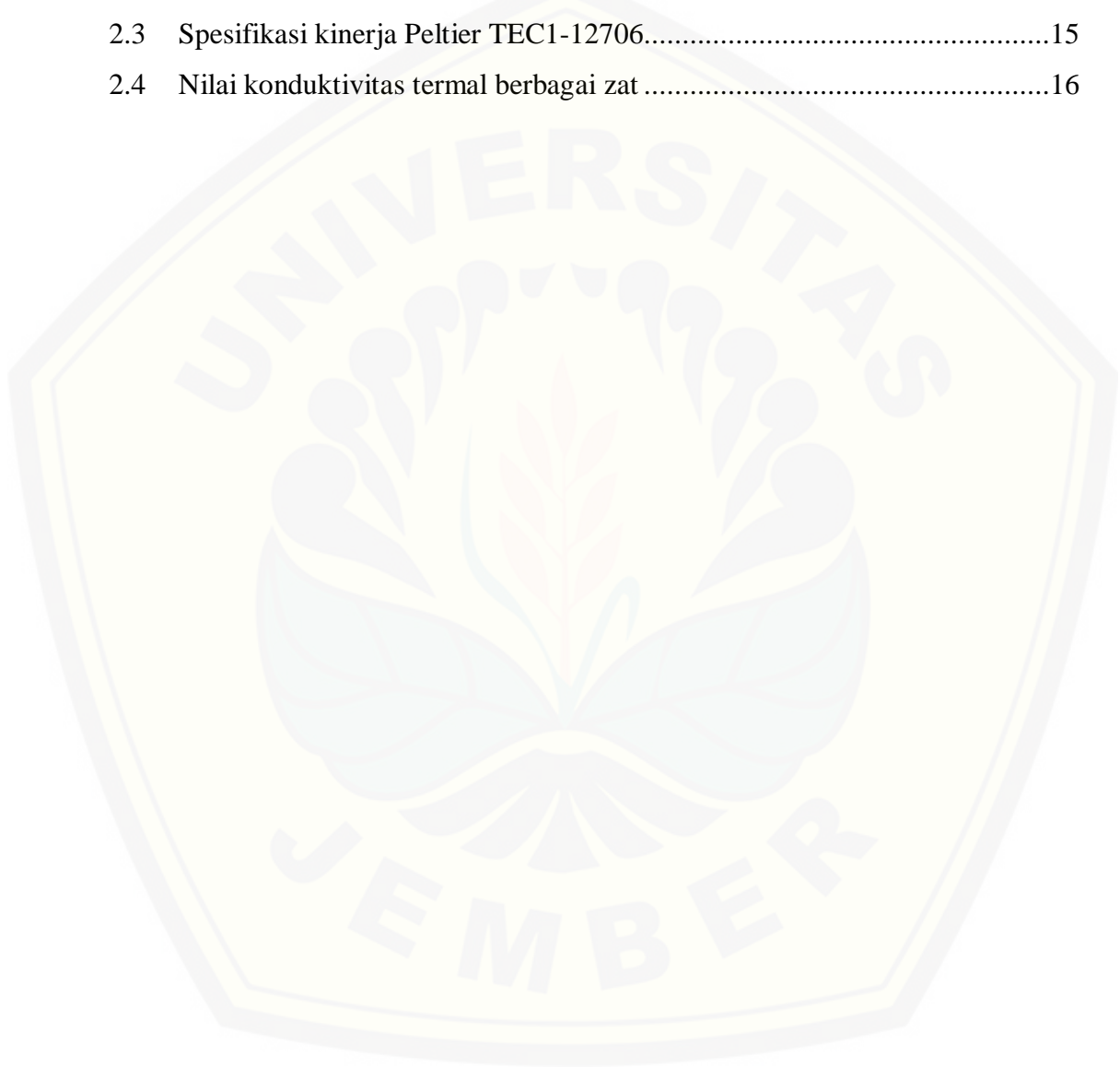
**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Energi</b> .....	6
<b>2.2 Perpindahan Panas</b> .....	6
<b>2.3 Generator Termoelektrik</b> .....	8
2.3.1 Pengertian Generator Termoelektrik .....	8
2.3.2 Prinsip Kerja Generator Termoelektrik .....	10
2.3.3 Perhitungan Generator Termoelektrik .....	11
<b>2.4 Efek Seebeck</b> .....	12
<b>2.5 Peltier</b> .....	14
<b>2.6 Semikonduktor</b> .....	15
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	17

<b>3.1 Rancangan Penelitian</b> .....	17
<b>3.2 Jenis dan Sumber Data</b> .....	18
3.2.1 Jenis Penelitian .....	18
3.2.2 Sumber Data Penelitian.....	19
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	19
<b>3.4 Kerangka Pemecahan Masalah</b> .....	19
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	20
3.4.2 Pelaksanaan Penelitian .....	21
3.4.3 Pengolahan Data Penelitian.....	22
<b>3.5 Metode Analisis Data</b> .....	23
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	24
<b>4.1 Desain Alat Konversi</b> .....	24
4.1.1 Pembuatan Alat Konversi.....	25
4.1.2 Analisis Hasil Konversi.....	28
<b>4.2 Pengaruh Jarak terhadap Tegangan dan Arus</b> .....	30
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	34
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	34
<b>5.2 Saran</b> .....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	35
<b>LAMPIRAN</b> .....	37

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Koefisien Seebeck material semikonduktor .....	13
2.2 Spesifikasi bagian Peltier TEC1-12706.....	15
2.3 Spesifikasi kinerja Peltier TEC1-12706.....	15
2.4 Nilai konduktivitas termal berbagai zat .....	16



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik .....	7
2.2 Generator termoelektrik .....	9
2.3 Prinsip kerja TEG .....	10
2.4 Generator termoelektrik rangkaian seri .....	11
2.5 Elemen Peltier .....	14
3.1 Diagram alir rancangan penelitian .....	18
3.2 Kerangka pemecahan masalah .....	18
3.3 Desain konversi panas menjadi listrik dengan TEG .....	20
3.4 Rangkaian tunggal generator termoelektrik .....	21
3.5 Rangkaian seri generator termoelektrik .....	21
4.1 Desain konversi panas menjadi listrik .....	21
4.2 Alat konversi dengan sudut plat aluminium .....	24
4.3 Hubungan nilai tegangan dengan sudut .....	28
4.4 Hubungan nilai arus dengan sudut .....	29
4.5 Hubungan nilai tegangan dengan jarak .....	31
4.6 Hubungan nilai arus dengan jarak .....	32

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. Tabel Hasil Hubungan Sudut dengan Tegangan dan Arus .....	37
B. Tabel Hasil Hubungan Jarak dengan Tegangan dan Arus .....	37





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan utama bagi kehidupan manusia zaman yang serba modern seperti sekarang ini. Listrik banyak digunakan manusia sebagai salah satu faktor pendukung untuk mempermudah pekerjaan manusia. Pada kehidupan perkotaan listrik sudah banyak tersedia, akan tetapi pada masyarakat pedesaan masih banyak yang kekurangan energi listrik terutama di daerah-daerah terpencil yang jauh dari jangkauan sumber listrik. Kegunaan listrik yang sangat universal ini mengharuskan adanya ketersediaan sumber listrik dalam jumlah yang sangat besar. Listrik dapat dihasilkan dari beberapa energi, salah satu energi yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik yaitu energi panas (Ryuanargo, 2013).

Secara umum energi merupakan suatu kemampuan untuk melakukan suatu pekerjaan (Puspita, 2017). Energi panas dimanfaatkan sebagai salah satu sumber penghasil energi listrik. Energi panas dapat berasal dari panas matahari ataupun benda yang dapat menghasilkan panas seperti pembakaran. Energi panas merupakan salah satu energi alternatif yang belum dimanfaatkan secara maksimal hingga saat ini, sehingga banyak energi yang terbuang percuma. Sebagai energi alternatif pembangkit listrik, energi panas terbilang cukup melimpah dalam kehidupan sehari-hari. Selain energi panas yang dihasilkan oleh matahari, energi panas juga banyak ditemui pada kegiatan pada industri-industri yang memanfaatkan pembakaran untuk kegiatan produksinya (Khalid *et al.*, 2016). Salah satu energi yang belum dimanfaatkan sejauh ini yaitu energi panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran pada pandai besi. Pembakaran yang dilakukan untuk memanaskan besi ini menghasilkan energi panas yang terbuang percuma. Energi panas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif lain, salah satu manfaat energi panas yaitu dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Pemanfaatan energi panas menjadi listrik ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat konversi yang disebut generator termoelektrik.

Generator termoelektrik dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Termoelektrik memiliki dua sisi, yaitu sisi panas dan sisi dingin. Prinsip kerja termoelektrik ini yaitu jika terjadi perbedaan temperatur antara dua sisinya, dimana satu sisi pada temperatur panas sedangkan sisi lainnya berada pada temperatur dingin sehingga dapat menghasilkan arus listrik (Ilham *et al.*, 2013). Termoelektrik mengkonversi energi panas sebagai pembangkit listrik dalam skala kecil atau sering disebut sebagai pembangkit listrik mikro (Khalid *et al.*, 2016). Termoelektrik menggunakan prinsip efek seebeck yang mana temperatur pada panas tersebut tidak melebihi 500 K (Simatupang, 2009). Arus listrik yang dihasilkan dari termoelektrik ini dapat dimanfaatkan pada proses pengisian aki, pengisian daya baterai, dan lain sebagainya.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Simatupang (2009), termoelektrik pembangkit listrik memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi kemungkinan termoelektrik sebagai pembangkit listrik tenaga surya. Termoelektrik TEC1-12706 digunakan untuk mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Termoelektrik yang digunakan sebanyak 20 buah ini disusun secara seri dan seri-paralel. Energi panas dari matahari dimanfaatkan untuk memanaskan minyak yang tersimpan didalam tangki, kemudian digunakan untuk memanaskan termoelektrik. Minyak yang sudah dipanaskan tersebut kemudian digunakan sebagai pemanas pada sisi panas termoelektrik untuk dapat menghasilkan listrik. Berdasarkan penelitian ini membuktikan bahwa termoelektrik ini berpotensi sebagai pembangkit listrik dalam skala rumah tangga, dengan catatan apabila jumlah termoelektrik ditambah sesuai dengan kebutuhan. Hasil penelitian pada susunan seri didapatkan efisiensi sebesar 0,0109% serta daya sebesar 0,716 W, sedangkan pada susunan seri-paralel didapatkan efisiensi sebesar 0,0159% dan daya sebesar 0,240 W.

Penelitian lain yang pernah dilakukan yaitu oleh Vázquez *et al.*, (2002), tentang pemulihan generator termoelektrik berdasarkan panas dari gas buang mobil. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik termoelektrik yang akan berguna untuk pembaruan potensi dari termoelektrik dalam dunia industri mobil dimasa yang akan datang. Proses pengkarakterisasian

termoelektrik ini memanfaatkan gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran mesin mobil sebagai panas pemulih. Berdasarkan hasil yang diperoleh dijelaskan bahwa pada saat terjadi penurunan temperatur sepanjang generator, menyebabkan daya yang dihasilkan sangat rendah, sehingga pengekstraksian panas dari gas buangan mobil sangat kecil. Perlu adanya peningkatan transmisi panas dari gas buangan mobil ke generator untuk memaksimalkan pengekstraksian sehingga menghasilkan daya yang besar. Hasil penelitian menunjukkan total daya yang diperoleh yaitu 42,3 W dengan suhu maksimum pipa knalpot 285°C.

Penelitian tugas akhir yang akan dilakukan ini untuk memanfaatkan prinsip dari generator termoelektrik sebagai pembangkit listrik tenaga panas. Penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh simatupang yang memanfaatkan matahari sebagai sumber panas, akan tetapi yang membedakan dari penelitian ini yaitu sumber energi panas yang digunakan serta lokasi penelitian. Sumber panas yang digunakan berasal dari hasil pembakaran pada pengerjaan pandai besi. Selain dari sumber panas yang digunakan, yang membedakan dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian ini menggunakan desain konversi yang berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan desain yang baik sebagai konversi energi panas menjadi energi listrik, sehingga dapat diterapkan oleh masyarakat sebagai energi listrik alternatif skala kecil. Sejauh ini energi panas yang berasal dari proses pembakaran pandai besi belum dimanfaatkan sehingga energi yang dihasilkan terbuang percuma. Desain terdiri dari tiga dasar, yaitu ukuran, bentuk, serta bahan yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan dengan memberikan variasi bentuk, dimana variasi bentuk tersebut yaitu dengan menggunakan tiga variasi sudut berbeda. Pengukuran tegangan dilakukan pada waktu tertentu hingga nilai tegangan berada dalam keadaan konstan. Desain paling baik ditunjukkan oleh nilai tegangan konversi terbesar yang dihasilkan. Energi listrik yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki berbagai macam manfaat, salah satunya yaitu dapat digunakan sebagai penerangan pada lampu darurat dalam skala kecil, pengisian baterai, dan lain sebagainya. Berdasarkan beberapa keutamaan hasil tersebut maka penelitian ini sangat perlu untuk dilakukan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, ditetapkan rumusan masalah dari penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana desain modul konversi panas menjadi listrik yang benar ?
2. Bagaimana pengaruh besar sudut terhadap nilai tegangan dan arus hasil konversi ?
3. Bagaimana hubungan jarak pengukuran terhadap nilai tegangan dan arus hasil konversi ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian ini diantaranya :

1. Penelitian ini menggunakan panas dari hasil pembakaran pada tungku pandai besi.
2. Penelitian difokuskan pada penerapan bukan terhadap karakterisasi generator termoelektrik.
3. Variasi desain hanya dilakukan pada segi bentuk yaitu dengan variasi sudut plat aluminium.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan pokok permasalahan yang diambil yaitu :

1. Menentukan desain modul konversi panas menjadi listrik yang benar.
2. Mengetahui hubungan besar sudut dengan besar tegangan dan arus hasil konversi.
3. Mengetahui hubungan jarak pengukuran terhadap nilai tegangan dan arus hasil konversi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini sangat bermanfaat bagi masyarakat khususnya para pekerja pandai besi. Energi listrik yang diperoleh dari termoelektrik dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dalam skala kecil. Selain itu prinsip termoelektrik

dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Energi panas yang dikonversi menjadi energi listrik dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal, seperti pengisian baterai, aki dan lain sebagainya yang membutuhkan aliran listrik. Hal ini dapat membantu industri pembangkit listrik dalam memenuhi kebutuhan listrik oleh masyarakat sebagai pengguna.



## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

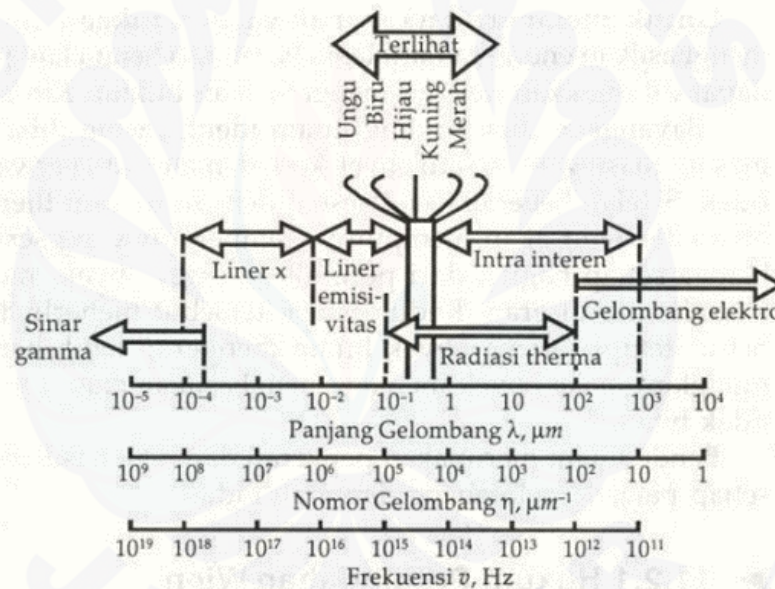
### **2.1 Energi**

Energi merupakan suatu elemen penting untuk menghasilkan gaya yang dapat membantu manusia untuk melakukan suatu pekerjaan. Menurut beberapa ilmuwan, energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan suatu kerja untuk menggerakkan sesuatu melawan sebuah gaya penahan (Umam, 2007). Menurut Walisiewicz (2003), energi adalah suatu konsep yang sangat sulit dipahami, energi tidak dapat dilihat dan tidak memiliki bentuk fisik. Meskipun begitu, energi dapat dirasakan keberadaannya dengan adanya suatu hasil kerja yang terjadi karena adanya energi yang bekerja. Energi memiliki beberapa jenis, salah satu jenis energi yaitu energi kinetik dan energi potensial. Jenis energi lain misalnya energi listrik, energi panas, energi nuklir, dan energi lainnya. Energi jenis ini disebut juga sebagai energi alternatif, dimana bentuk energi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sumber energi lain untuk menghasilkan energi baru. Contoh pemanfaatan energi alternatif yang telah banyak dimanfaatkan yaitu energi panas matahari yang digunakan sebagai pembangkit listrik.

### **2.2 Perpindahan Energi Panas**

Energi panas merupakan energi yang dapat bergerak dari satu benda ke benda lainnya. Proses ini disebut dengan perpindahan energi atau juga disebut dengan perpindahan panas. Perpindahan panas terjadi apabila dalam suatu sistem terdapat dua benda atau lebih yang memiliki perbedaan temperatur disinggungkan maka akan terjadi perpindahan panas (Kreith, 1991). Transfer panas ini terjadi dari benda temperatur tinggi menuju benda temperatur rendah. Proses perpindahan panas terbagi menjadi tiga macam, yaitu secara perpindahan secara konduksi, konveksi, serta radiasi. Ketiga macam perpindahan tersebut memiliki cara yang berbeda dalam proses menyebarkan energi panas. Perpindahan secara konduksi merupakan proses perpindahan panas yang memanfaatkan benda padat sebagai medium perpindahannya. Pada proses ini tidak ada bagian dari medium yang berpindah, melainkan panas merambat melalui molekul-molekul yang ada pada

logam atau benda padat lainnya. Perpindahan secara konveksi merupakan proses perpindahan panas dengan menggunakan bahan cair atau gas sebagai mediumnya. Berbeda dengan konduksi, proses konveksi ini panas merambat mengikuti perpindahan dari mediumnya. Perpindahan secara radiasi merupakan perpindahan panas yang tidak memerlukan medium dalam perambatannya. Dalam hal ini energi panas merambat melalui gelombang elektromagnetik yang dibawa dalam jarak yang tertentu tanpa adanya interaksi dengan medium (yunus, 2010). Menurut Simatupang (2009), gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang dalam perambatannya tidak memerlukan medium. Gelombang elektromagnetik dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan frekuensinya yang ditunjukkan seperti Gambar 2.1



Gambar 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik (sumber : Wahyono, 2019)

Radiasi dari suatu sumber dipancarkan ke segala arah dengan jarak tertentu. Semakin dekat jarak suatu benda dengan sumber maka radiasi yang diterima oleh benda tersebut akan semakin besar (Ulum, 2008). Radiasi panas yang dipancarkan menyebabkan suatu benda yang terkena radiasi terpengaruh oleh panas tersebut. Proses pemancaran radiasi panas ini memiliki kecepatan tertentu yang disebut dengan laju perpindahan. Menurut Koestoer (2002), laju perpindahan ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti temperatur permukaan,

emisivitas, dan lain sebagainya. Kondisi permukaan dari benda yang menerima dan memancarkan radiasi sangat berpengaruh terhadap laju radiasi panas, karena kondisi permukaan tersebut menyebabkan daya pancar radiasi berubah. Laju perpindahan dapat ditentukan berdasarkan rumus seperti pada persamaan 2.1

$$Q = \sigma \varepsilon A_1 F_{1 \rightarrow 2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.1)$$

Dengan  $Q$  = laju perpindahan panas (W)

$\sigma$  = konstanta Boltzman ( $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

$\varepsilon$  = emisivitas permukaan benda

$A_1$  = luas permukaan benda 1 ( $\text{m}^2$ )

$F_{1 \rightarrow 2}$  = faktor bentuk

$T_1, T_2$  = temperatur benda 1 dan benda 2

Energi panas yang dibawa oleh gelombang elektromagnetik bergerak dengan laju tertentu ke segala arah, sehingga radiasi panas ini akan bersinggungan dengan benda yang ada disekitarnya. Proses pancaran radiasi inilah yang dimanfaatkan dalam penggunaan generator termoelektrik. Hubungan radiasi panas dengan termoelektrik yaitu termoelektrik melakukan membutuhkan energi panas untuk dapat menghasilkan listrik. Panas tersebut dapat diperoleh oleh termoelektrik berdasarkan proses pancaran radiasi yang dibawa oleh elektromagnetik, sehingga radiasi yang dipancarkan tersebut dapat diserap oleh termoelektrik sebagai sumber panas. Setelah panas tersebut diterima oleh termoelektrik maka akan terjadi perbedaan temperatur dari kedua sisi, sehingga termoelektrik akan menghasilkan aliran listrik.

## 2.3 Generator Termoelektrik

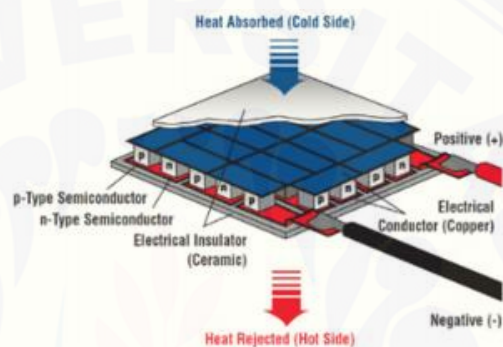
### 2.3.1 Pengertian Generator Termoelektrik

Generator termoelektrik merupakan suatu teknologi baru yang digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga panas secara langsung. Generator termoelektrik mengkonversi energi panas menjadi energi listrik karena adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi plat. Selain mengkonversi perbedaan temperatur menjadi listrik, termoelektrik juga dapat menghasilkan dingin pada saat termoelektrik dialiri arus listrik atau sering disebut dengan termoelektrik



pendingin. Modul termoelektrik berbahan dasar *bismuth telluride* yang penggunaannya dibalik dengan memasukkan energi panas dan dingin untuk menghasilkan energi listrik (Simatupang, 2009).

Generator termoelektrik memiliki elemen penting yang terdiri dari bahan semikonduktor dengan tipe N dan tipe P. Bagian atas dan bagian bawah dilapisi dengan bahan konduktor tembaga, hal ini bertujuan sebagai penghubung antara tipe N dan tipe P pada saat proses konversi. Bentuk generator termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Generator termoelektrik (sumber : Ryanuargo *et al.*, 2013)

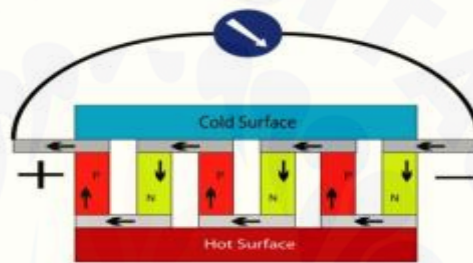
Konduktor tembaga yang terdapat pada termoelektrik tersebut dapat membantu proses perpindahan elektron agar dapat bergerak bebas. Saat logam tersebut dikenakan panas dan dingin maka elektron yang terdapat didalam termoelektrik akan bergerak sehingga akan menghasilkan energi listrik (Khalid *et al.*, 2016).

Menurut Vasquez *et al.*, (2002), generator termoelektrik terdiri dari tiga komponen penting sebagai berikut :

1. Struktur penopang  
Bagian ini berfungsi sebagai tempat meletakkan modul termoelektrik.
2. Modul termoelektrik  
Bagian ini adalah yang peka terhadap temperatur atau yang menerima perbedaan temperatur untuk dikonversi menjadi listrik.
3. Sistem disipasi panas  
Bagian ini memiliki fungsi sebagai pengatur transmisi panas yang akan melewati modul termoelektrik.

### 2.3.2 Prinsip Kerja Generator Termoelektrik

Generator termoelektrik bekerja berdasarkan efek seebeck, dimana generator ini akan menghasilkan energi listrik pada saat terjadi perbedaan temperatur yang mengenai kedua sisi termoelektrik. Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Thomas Johann seebeck. Thomas meletakkan jarum kompas diantara tembaga dan besi yang dihubungkan. Setelah kedua logam tersebut dipanaskan, jarum kompas mengalami pergerakan. Hal ini terjadi karena timbul aliran listrik pada saat salah satu sisinya dipanaskan (Puspita *et al.*, 2017). Prinsip kerja termoelektrik ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Prinsip kerja TEG (sumber : Puspita *et al.*, 2017)

Termoelektrik terdiri dari beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing. Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat bahwa pada saat salah satu sisi diberikan kalor atau panas dan diteruskan pada sisi lainnya akan menghasilkan arus listrik yang kemudian mengakibatkan adanya beda potensial yang memunculkan nilai tegangan listrik (Abrar, 2016). Generator termoelektrik memiliki ion bermuatan pada kedua sisi, sehingga saat terjadi perbedaan temperatur muatan yang ada pada sisi dingin akan menghasilkan tegangan listrik untuk mendorong muatan tersebut menuju sisi panas. Hal ini terjadi karena semikonduktor tipe N memproduksi potensial negatif pada sisi dingin dan potensial positif pada sisi panas yang bekerja menggerakkan elektron dari potensial positif ke potensial negatif, sedangkan semikonduktor tipe P bekerja sebaliknya dari tipe N (Simatupang, 2009).

Kelemahan dari generator termoelektrik ini yaitu nilai efisiensi yang rendah, sehingga perlu dipasang *Heat sink* untuk meningkatkan efisiensi dari generator termoelektrik itu sendiri. *Heat sink* ini berfungsi untuk meningkatkan pelepasan

kalor pada sisi dingin untuk memperbesar perbedaan temperatur pada kedua sisi. Perbedaan temperatur ini berbanding lurus dengan nilai tegangan yang dihasilkan dimana semakin besar perbedaan temperature maka nilai tegangan yang dihasilkan akan semakin besar (Putra, 2009). Hal ini juga dapat dilihat dari hubungan antara beda potensial dan beda temperatur terhadap nilai efisiensi dibawah ini :

$$P = \eta Q \quad (2.2)$$

Dimana P adalah daya (watt),  $\eta$  adalah efisiensi (%), dan Q adalah kalor (joule).

### 2.3.3 Perhitungan Generator Termoelektrik

#### A. Generator Termoelektrik Modul (Tunggal)

Nilai tegangan pada satu modul termoelektrik didapatkan dari persamaan :

$$V = S \times \Delta T \quad (2.3)$$

Dimana : V adalah tegangan keluaran termoelektrik (Volt)

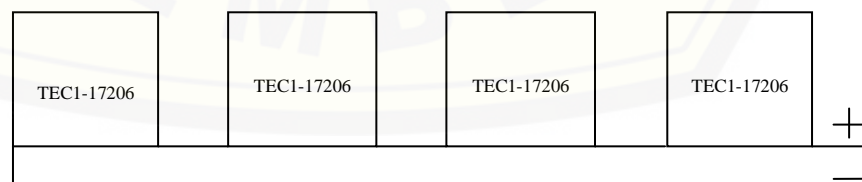
S adalah Koefisien seebeck rata-rata (V/K)

$\Delta T$  adalah beda temperatur kedua sisi (K)

Termoelektrik yang dihubungkan dengan rangkaian menyebabkan tegangan keluaran akan meningkat tergantung dari rangkaian dan jumlah modul generator termoelektrik.

#### B. Rangkaian Termoelektrik

Rangkaian termoelektrik ini menggunakan beberapa termoelektrik yang disusun secara seri. Rangkaian termoelektrik susunan seri ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Generator termoelektrik rangkaian seri.

Rangkaian diatas menunjukkan bahwa dalam satu rangkaian itu terdiri dari beberapa modul termoelektrik yang disusun secara seri. Termoelektrikdisusun

sejajar dengan carabagian negatif dihubungkan dengan bagian positif termoelektrik. Nilai keluaran tegangan dan arus yang dihasilkan dituliskan dalam persamaan berikut :

$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (2.4)$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 \quad (2.5)$$

Daya keluaran generator dihitung dengan persamaan (Buist, 1983) :

$$P = V \times I \quad (2.6)$$

#### 2.4 Efek Seebeck

Awal mula ditemukannya efek Seebeck yaitu dari eksperimen yang dilakukan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 yang menghubungkan dua tembaga yang kemudian diletakkannya jarum kompas diantara kedua tembaga tersebut. Setelah dipanaskan salah satu sisi tembaga tersebut jarum kompas bergerak, hal ini menandakan bahwa pada saat dipanaskan tersebut menghasilkan aliran listrik yang kemudian menimbulkan adanya medan magnet disekitar tembaga. Medan magnet inilah yang kemudian menggerakkan jarum kompas tersebut (Syaifudin, 2015). Efek Seebeck menjelaskan bahwa apabila terdapat dua buah logam semikonduktor yang dihubungkan pada suatu lingkungan yang memiliki temperatur berbeda maka material logam tersebut akan menghasilkan aliran listrik, dengan kata lain energi listrik akan mengalir jika kedua sisi logam tersebut memiliki suhu yang berbeda yaitu suhu panas dan suhu dingin (Lovell, 1981).

Efek Seebeck dapat diterapkan dalam beberapa bahan konduktor. Setiap bahan memiliki nilai koefisien Seebeck yang berbeda-beda, sehingga tegangan yang dihasilkan juga berbeda untuk setiap bahan. Semakin besar nilai koefisien Seebeck suatu bahan, maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Menurut Madina (2014), koefisien Seebeck beberapa material semikonduktor ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Koefisien Seebeck material semikonduktor

No	Material semikonduktor	Koefisien Seebeck (V/K)
1	Selenium	900
2	Tellurium	500
3	Silicon	440
4	Germanium	330
5	Antimony	47
6	Nichrome	25
7	Molybdenum	10
8	Cadmium, tungsten	7.5
9	Gold, silver, copper	6.5
10	Rhodium	6.0
11	Tantalum	4.5
12	Lead	4.0
13	Aluminium	3.5
14	Carbon	3.0
15	Mercury	0.6
16	Platinum	0
17	Sodium	-2.0
18	Potassium	-9.0
19	Nickel	-15
20	Constantan	-35
21	Bismuth	-72

Koefisien Seebeck menjelaskan bahwa pada saat dipanaskan arus akan mengalir dari temperatur panas menuju temperatur dingin. Semikonduktor tipe N mengalirkan elektron dari temperatur panas pada temperatur dingin sehingga sisi pada temperatur dingin akan kelebihan elektron dan koefisien Seebeck bersifat negatif. Sebaliknya, pada semikonduktor tipe P hole bergerak dari temperatur panas menuju temperatur dingin sehingga sisi pada temperatur dingin kekurangan elektron dan koefisien Seebeck bernilai positif. Koefisien Seebeck dituliskan dalam persamaan berikut (Madina, 2014) :

$$S_{MTH} = s_1 T + \frac{s_2 T_2}{2} + \frac{s_3 T_3}{3} + \frac{s_4 T_4}{4}$$

$$S_{MTC} = s_1 T + \frac{s_2 T_2}{2} + \frac{s_3 T_3}{3} + \frac{s_4 T_4}{4}$$

$$S_M = \frac{(S_{MTH} - S_{MTC})}{\Delta T} \quad (2.7)$$

Dimana :

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

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

Hubungan koefisien Seebeck dengan tegangan secara sederhana dituliskan dalam persamaan berikut :

$$S_M = \frac{V}{\Delta T} \quad (2.8)$$

Dimana :  $S_M$  adalah koefisien seebeck (V/K)

V adalah tegangan keluaran generator (V)

$\Delta T$  adalah perbedaan suhu panas dan suhu dingin generator (K)

## 2.5 Peltier

Peltier adalah elemen terpenting didalam generator termoelektrik, dimana bagian yang terbuat dari keramik ini berperan sebagai sisi panas dan sisi dingin yang kemudian menghasilkan aliran listrik sebagai keluaran dari generator termoelektrik. Besar daya keluaran yang dihasilkan oleh peltier ini dituliskan dalam persamaan berikut (Klara, 2016) :

$$P = V \times I \quad (2.8)$$

Dimana :

P adalah daya dengan satuan watt (W)

V adalah tegangan dengan satuan volt (V)

I adalah kuat arus dengan satuan ampere (A)



Gambar 2.5 Elemen Peltier (sumber : Ansyori, 2017)

Menurut Min (1994), terdapat dua spesifikasi dari peltier TEC1-12706, yaitu spesifikasi bagian dan spesifikasi kinerja dari suatu Peltier. Spesifikasi termoelektrik ditampilkan dalam Tabel 2.2 dan Tabel 2.3

Tabel 2.2 Spesifikasi bagian Peltier TEC1-12706

No	Spesifikasi	Nilai
1	Model	TEC1-12706
2	Ukuran	40x40 mm
3	Operasi tegangan dan arus	0-15,2 V dan 0-6 A
4	Operasi suhu	(-30)-70°C
5	Konsumsi daya maksimal	60 Watt

Tabel 2.3 Spesifikasi kinerja Peltier TEC1-12706

No	Kinerja spesifikasi sisi suhu panas (°C)	25°C	50°
1	Qmax (watt)	50	57
2	Delta Tmax (°C)	66	75
3	Imax (Ampere)	6,4	6,4
4	Vmax (Vmax)	14,4	16,4
5	Modul resistansi (Ohm)	1,98	2,30

Peltier sendiri memiliki kelebihan dan kekurangan, kelebihan peltier yaitu adanya bagian yang bergerak atau cairan yang bersirkulasi, serta ukurannya yang kecil. Sedangkan untuk kekurangannya yaitu tingkat efisiensi yang relatif rendah serta harga yang terbilang cukup mahal (Ansyori, 2017).

## 2.6 Semikonduktor

Bahan semikonduktor memiliki sifat antara bahan konduktor dan isolator, secara garis besar bahan semikonduktor adalah bahan yang dapat menghantarkan listrik dan panas akan tetapi dalam tingkatan tertentu dibawah bahan konduktor dan diatas isolator. Material semikonduktor memiliki dua tipe, yaitu tipe P dan tipe N. Semikonduktor tipe P jika memiliki pembawa muatan akan bersifat positif, sedangkan tipe N jika memiliki pembawa muatan akan bersifat negatif (Zeng *at al.*, 2007). Suatu bahan semikonduktor sering digunakan sebagai penghantar panas. Setiap bahan memiliki daya hantar yang berbeda-beda tergantung pada konduktivitas termal bahan semi konduktor tersebut. Salah satu contoh bahan

semikonduktor yang sering digunakan sebagai penghantar panas adalah Aluminium. Nilai konduktivitas termal setiap zat ditampilkan dalam Tabel 2.4

Tabel 2.4 Nilai konduktivitas termal berbagai zat (Sarjito, 2013)

No	Jenis Zat (20°C)	Konduktivitas termal (W/mK)
1	Alumunium	200
2	Kuningan	110
3	Tembaga	390
4	Timbal	35
5	Perak	410
6	Besi	80
7	Baja	46
8	Asbes	0,008
9	Beton	0,80
10	Gabus	0,17
11	Kaca	0,80
12	Kayu rata-rata	0,08
13	Air	0,60
14	Es	1,70
15	Udara	0,024
16	Hidrogen	0,14
17	Oksigen	0,023

Aluminium memiliki spesifikasi yaitu massa jenis  $2,7 \text{ kg/cm}^3$ , titik leleh  $658^\circ\text{C}$ , serta daya hantar sebesar  $0,0042 \text{ per } ^\circ\text{C}$ . Aluminium memiliki sifat yang lunak dengan kekuatan tariknya  $9 \text{ km/mm}^3$ . Oleh sebab itu aluminium ini sangat baik digunakan karena merupakan bahan semikonduktor yang memiliki daya hantar yang sangat besar (Yulianti, 2016).



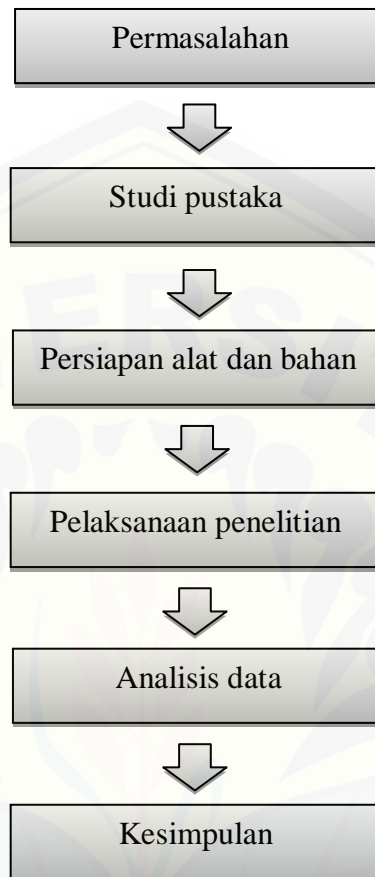
## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan memanfaatkan pembakaran pada tungku pandai besi sebagai sumber panas. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan desain konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik sebagai pembangkit listrik tenaga panas. Desain konversi ini didapatkan berdasarkan nilai tegangan hasil konversi dari setiap variasi desain yang digunakan. Penentuan desain konversi dilakukan dengan tiga variasi sudut plat aluminium. Desain paling baik ditentukan dari nilai tegangan terbesar dari ketiga variasi desain tersebut. Nilai tegangan hasil konversi didapatkan saat terjadi perbedaan temperatur pada kedua sisi plat termoelektrik, dimana satu sisi dengan temperatur panas dan sisi lainnya dengan temperatur dingin. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Simatupang (2009) didapatkan efisiensi sebesar 0,0109% serta daya sebesar 0,716 W, sedangkan pada susunan seri-paralel didapatkan efisiensi sebesar 0,0159% dan daya sebesar 0,240 W.

Penelitian ini memanfaatkan energi panas yang berasal dari proses pembakaran pada pandai besi. Energi panas digunakan sebagai pembangkit listrik yang dapat diketahui dengan adanya keluaran berupa tegangan dan kuat arus. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu generator termoelektrik sebagai alat konversi, sumber panas, pendingin, plastik, kabel penghubung, arang, blower, termometer infrared, dan multimeter untuk menampilkan keluaran tegangan dan kuat arus. Penelitian dilakukan berdasarkan permasalahan yang didapatkan dari berbagai referensi yang kemudian diangkat dalam penelitian ini. Hal pertama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan dan kemudian alat tersebut dirancang sesuai dengan kebutuhan. Setelah alat sudah siap kemudian dilakukan proses pengambilan data. Data yang diperoleh pada penelitian ini berupa tegangan dan kuat arus yang dihasilkan dari perbedaan temperatur panas dan dingin pada kedua sisi generator termoelektrik. Kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data hasil penelitian

sehingga dapat mengambil kesimpulan berdasarkan data yang dihasilkan. Rancangan penelitian ditunjukkan diagram alir pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir rancangan penelitian

### 3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian.

#### 3.2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian tentang pemanfaatan energi panas menjadi energi listrik. Panas yang berasal dari pembakaran pada pandai besi digunakan sebagai sumber energi pembangkit listrik menggunakan alat yang disebut dengan generator termoelektrik. Penelitian dilakukan untuk menentukan desain konversi yang baik untuk dapat menghasilkan energi listrik. Termoelektrik sendiri akan menghasilkan listrik pada saat kedua sisinya dihubungkan dengan temperatur yang berbeda. Data yang didapatkan dari penelitian bersifat data kuantitatif.

### 3.2.2 Sumber Data Penelitian

Keluaran berupa tegangan dan kuat arus yang didapatkan digunakan sebagai hasil data penelitian secara langsung atau disebut sebagai data primer. Data yang didapatkan merupakan data dari variasi sudut sebagai desain konversi menggunakan termoelektrik, selain itu juga dilakukan variasi jarak pada dengan menggunakan empat termoelektrik. Data yang didapatkan dari pengukuran tersebut yaitu beda temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), tegangan (V) dan arus (A).

### 3.3 Definisi Operasional Variabel

Variabel dalam penelitian terbagi menjadi tiga bagian yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu sudut plat aluminium dan jarak pengukuran. Variasi sudut dilakukan untuk menentukan desain yang dapat memanfaatkan termoelektrik dengan baik. Jarak yang diberikan yaitu 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Variabel terikat yaitu besar keluaran yang berupa tegangan dan kuat arus. Nilai tegangan dan arus yang dihasilkan bergantung pada besar beda temperatur kedua sisi termoelektrik, semakin besar beda temperatur maka tegangan akan semakin besar. Sedangkan untuk variabel kontrol pada penelitian ini yaitu sumber panas. Sumber panas yang digunakan berasal dari pembakaran tungku pandai besi.

### 3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini dapat diselesaikan dengan melakukan studi pustaka dari berbagai referensi yang berhubungan dengan tema penelitian. Informasi yang diperoleh dari studi pustaka ini berupa pengetahuan mengenai objek yang akan diteliti, maupun tentang alat yang akan digunakan untuk penelitian. Studi pustaka ini akan membantu peneliti untuk menentukan metode bagaimana penelitian ini dilaksanakan, baik proses pengambilan data maupun saat pengolahan data. Kerangka pemecahan masalah pada penelitian ini disesuaikan dengan gambar 3.2



Gambar 3.2 Kerangka pemecahan masalah

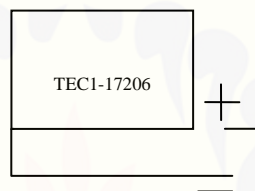
#### 3.4.1 Tahapan Persiapan Alat dan Bahan

Langkah pertama dalam pengambilan data ini yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian. Termoelektrik berfungsi sebagai konversi panas menjadi listrik. Selain itu komponen lainnya yang digunakan yaitu

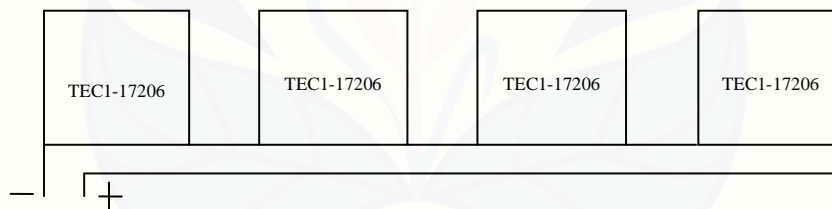
termometer sebagai alat ukur suhu, serta multimeter untuk menampilkan keluaran berupa tegangan dan kuat arus. Sementara untuk bahan yang akan digunakan yaitu panas sebagai sumber energi. Sumber panas ini didapatkan dari proses pembakaran pada pandai besi. Berikut desain konversi panas menjadi listrik menggunakan generator termoelektrik yang akan digunakan dalam penelitian :



Gambar 3.3 Desain koversi panas menjadi listrik dengan TEG



Gambar 3.4 Rangkaian tunggal generator termoelektrik.



Gambar 3.5 Rangkaian seri generator termoelektrik

### 3.4.2 Pelaksanaan Penelitian

Setelah alat dan bahan yang telah disiapkan tersebut dirancang sesuai dengan skema yang ada, kemudian dilanjutkan dengan proses pengambilan data. Proses ini dilakukan berdasarkan langkah-langkah berikut ini :

- A. Penentuan desain konversi
  1. Merancang desain konversi dengan variasi sudut  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  dan  $180^\circ$ .
  2. Arang dinyalakan hingga menjadi bara dengan bantuan blower.
  3. Rancangan alat diletakkan berbentuk garis lurus dengan blower dan arang dengan menggunakan 1 termoelektrik pada jarak 10 cm.

4. Mencatat hasil pengukuran tegangan dan arus pada keadaan konstan sebanyak tiga data. Data yang diamati tersebut yaitu temperatur panas dan temperatur dingin pada sisi termoelektrik, besar tegangan keluaran yang ditampilkan oleh multimeter.
  5. Langkah 2 sampai 4 diulangi dengan variasi sudut yang lain.
- B. Pengukuran hubungan hasil tegangan dan arus dengan jarak.
1. Alat-alat dirancang seperti pada gambar 3.2 diatas.
  2. Rancangan alat diletakkan berbentuk garis lurus dengan blower dan arang dengan menggunakan 4 termoelektrik pada jarak 10 cm.
  3. Mencatat hasil pengukuran tegangan dan arus pada keadaan konstan sebanyak tiga data. Data yang diamati tersebut yaitu temperatur panas dan temperatur dingin pada sisi termoelektrik, besar tegangan keluaran yang ditampilkan oleh multimeter.
  4. Setelah pengambilan data pada jarak 10 cm tersebut selesai, temperatur termoelektrik dinetralkan terlebih dahulu dengan cara didiamkan sampai suhunya sama seperti suhu semula sebelum dilakukan pada variasi selanjutnya. Pengukuran dilakukan dengan variasi jarak sejauh 10 cm, 15 cm dan 20 cm.

#### 3.4.3 Pengolahan Data

Data yang dihasilkan pada pengukuran kemudian diolah sehingga mendapatkan hasil data sebagai tolak ukur penentuan desain konversi yang paling baik untuk digunakan. Pengolahan data ini dilakukan untuk menentukan besarnya energi listrik yang dihasilkan generator termoelektrik sebagai bentuk kemampuan generator termoelektrik sebagai pembangkit listrik tenaga panas. Berdasarkan data hasil perhitungan tersebut kemudian dilanjutkan dengan pemuatan grafik hubungan antara tegangan dan arus dengan sudut, serta hubungan tegangan dan arus dengan jarak sehingga dari grafik tersebut dapat digunakan sebagai acuan pengambilan kesimpulan.

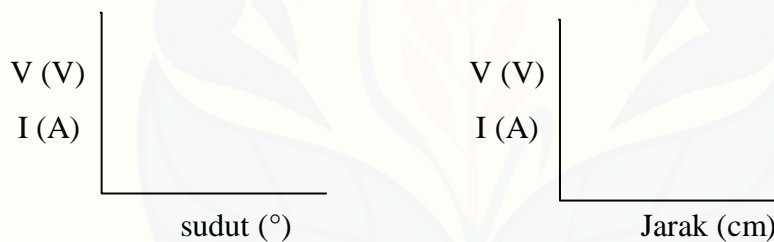
### 3.5 Metode Analisis Data

Data hasil yang diperoleh pada penelitian ini diolah secara dari setiap variasi sudut yang digunakan. Keluaran hasil konversi bergantung pada besar beda temperatur pada termoelektrik. Beda temperatur sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) didapatkan dari :

$$\Delta T = T_h - T_c$$

dengan  $T_h$  adalah temperatur panas dan  $T_c$  adalah temperatur dingin.

Berdasarkan perbedaan temperatur ini akan menghasilkan nilai tegangan dan arus. Setelah perhitungan data hasil telah didapatkan dilanjutkan dengan pembuatan grafik dari setiap susunan yang digunakan dalam penelitian. Grafik ini menjelaskan tentang adanya pengaruh sudut terhadap tegangan dan kuat arus serta jarak terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator termoelektrik. Penentuan desain konversi ini didasarkan pada tegangan terbesar hasil konversi generator termoelektrik. Grafik akan ditampilkan seperti gambar berikut :



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dari hasil pengukuran yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan :

1. Desain konversi panas menjadi listrik paling baik untuk digunakan dari ketiga jenis desain yaitu desain dengan dengan sudut plat aluminium sebesar  $120^\circ$ , karena nilai tegangan dan arus yang dihasilkan lebih besar. Pada sudut tersebut menghasilkan nilai keluaran yang paling besar yaitu dengan besar tegangan  $(0,95 \pm 0,04)$  V dan arus  $(0,16 \pm 0,01)$  A.
2. Besar tegangan dan arus yang dihasilkan semakin kecil pada saat sudut plat aluminium lebih besar. Karena pada pada sudut  $180^\circ$  radiasi panas yang diserap lebih sedikit daripada sudut  $120^\circ$ .
3. Semakin jauh jarak termoelektrik terhadap sumber panas nilai tegangan dan arus hasil konversi akan semakin kecil, hal ini terjadi karena panas yang dapat diserap oleh plat semakin sedikit sehingga beda temperatur semakin kecil karena radiasi panas semakin memudar.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian desain konversi panas menjadi listrik ini yaitu perlu adanya variasi desain yang lebih banyak. Semakin banyak variasi desain yang digunakan maka hasil yang diperoleh lebih akurat dan dapat dengan mudah menentukan desain yang lebih baik untuk digunakan.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Abrar, M. 2016. Studi Karakterisasi Modul Generator Termoelektrik Tipe SP184827145SA. *Skripsi*. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.
- Ansyori. 2017. Rancang Bangun System Termoelektrik Sederhana Sebagai Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Metode Seebeck Effect. *Skripsi*. Malang : UIN Malang.
- Aprilia, M. I. 2014. *Pengaruh Efek Seebeck Pada Pembangkitan Listrik Dengan Termoelektrik*. Bali : Universitas Udayana.
- Burke, E. dan Buist, R. 1983. *Termoelektrik Coolers As Power Generators. 18<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*. florida : Orlando.
- Duffie, J. A. dan Beckmam, W. A. 1991. *Solar Engineering Of Thermal Processes*. New York : John Wiley.
- G. J. Snyder. 2006. "Thermoelectric Power Generation: Efficiency and Compatibility," in *Thermoelectrics Handbook Macro to Nano*. edited by D. M. Rowe. Boca Raton. USA : Taylor and Francis Group.
- Min, G. dan Roe, D. M. 1994. *Handbook Of Thermoelectrics, Peltier Devicesas Generator*. Floridina : CRC Press LLC.
- Khalid, M. Syukri, M. dan Gapy, M. 2016. Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik. *Jurnal Online Teknik Elektro*. 1(3) : 57-62
- Koestoer, dan Raldi, A. 2002. *Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Kreith, F. 1991. *Perpindahan Panas. Alih Bahasa Prijono, Arko*. Jakarta: Erlangga.
- Lovell, M. C., Avery, A. J., dan Vernon, M. W. 1981. *Physical Properties Of Material*. Cambridge : Van Nostrand Reinhold Company University Press.
- Puspita, S. C., Sunamo, H., dan Indarto, B. 2017. Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 13(2)
- Putra, R. A., Koestoer, M., Adhitya, A. R., dan Trianto, B. 2009. Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid. *Makara Journal of Technology*. 13(2) : 53-58.

- Sardjito. 2002. *Fisika Terapan Untuk Politeknik Fisika dan Termodinamika*. Direktorat Pembinaan Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat : Departemen Pendidikan Nasional.
- Simatupang, H. 2009. Karakteristik Termoelektrik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Pendingin Air. *Skripsi*. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- Syaifudin, A. 2015. *Prototype Pembangkit Daya Termoelektrik Pada Sistem Pendingin Engine Kapal Untuk Pengisian Baterai Starting Generator-Set*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ulum, M. F. 2008. *Prinsip Dasar Proteksi Radiasi dalam Diagnostik*. *Proceedings Joint Meeting Of The 3rd International Meeting On AZMWC2008 and KIVNAS X PDHI*. Bogor : ISBN.
- Umam, K. 2007. Analisis Potensi Energi Alternatif Dan Implikasinya Terhadap Sosial Ekonomi Masyarakat Indonesia. *skripsi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Wahyono, R. I. 2019. *Pembuatan Alat Uji Perpindahan Panas Secara Radiasi*. Semarang : Politeknik Negeri Semarang.
- Walisiewicz, M. 2003. *Energi Alternatif*. Jakarta : Erlangga.
- Yulianti, D. 2016. *Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam Bekas*. Lampung : Universitas Lampung.
- Yunus, A. D. 2010. *Perpindahan Panas dan Massa*. Jakarta : Universitas Darma Persada
- Zeng, Y. J., Ye, Z. Z., Liu, B., Che, Y., Zhu, L. P., dan Zhao, B. H. 2007. Study On The Hall Effect and Photoluminescence Of N-Doped P-Type ZnO Thin Films. *Material Letters*. 6(1) : 41-44

LAMPIRAN

**A. Tabel 1. Pengaruh sudut terhadap tegangan dan arus**

sudut	pengukuran	Tc (°C)	Th (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ rata-rata (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Vrata-rata (V)	Arata-rata (A)	SD tegangan (V)	SD arus (A)
120°	1	48	114	66		0,92	0,15				
	2	49	116	67	67,3	0,95	0,15	0,95	0,16	0,04	0,01
	3	50	119	69		0,99	0,17				
150°	1	44	93	49		0,77	0,12				
	2	46	96	50	49,7	0,79	0,13	0,79	0,13	0,02	0,01
	3	47	97	50		0,8	0,13				
180°	1	39	84	45		0,46	0,08				
	2	41	88	47	46,7	0,5	0,09	0,49	0,09	0,03	0,01
	3	42	90	48		0,52	0,09				

**B. Tabel 2. Pengaruh jarak terhadap nilai tegangan dan arus**

Jarak (cm)	pengukuran	Tc (°C)	Th (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ rata-rata (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Vrata-rata (V)	Arata-rata (A)	SD tegangan (V)	SD arus (V)
10	1	51	107	56		3,31	0,95				
	2	53	111	58	57,3	3,38	1,01	3,37	1,02	0,06	0,07
	3	55	113	58		3,43	1,09				
15	1	39	92	53		1,31	0,23				
	2	40	95	55	54,3	1,36	0,25	1,35	0,26	0,03	0,03
	3	42	97	55		1,37	0,29				
20	1	36	66	30		0,34	0,13				
	2	36	67	31	31,3	0,34	0,13	0,34	0,13	0,01	0,01
	3	36	69	33		0,35	0,14				