

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS DARI TUNGKUPEMBAKARAN
SATE UNTUK GENERATOR *THERMOELECTRIC***

SKRIPSI

OLEH:

**BONA PASOGIT PASARIBU
178130028**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 3/7/24

Access From (repository.uma.ac.id)3/7/24

HALAMAN JUDUL

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS DARI TUNGKU PEMBAKARAN SATE UNTUK GENERATOR *THERMOELECTRIC*

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

OLEH:

BONA PASOGIT PASARIBU
178130028

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Perpindahan Panas Dari Tungku Pembakaran Sate Untuk Generator *Thermoelectric*
Nama Mahasiswa : Bona Pasogit Pasaribu
NIM : 178130028
Bidang Keahlian : Konversi Energi

Disetujui-Oleh
Komisi Pembimbing



(Jufrizal, S.T., M.T)
Dosen Pembimbing I



(Jufrizal, S.T., MT)
Dosen Pembimbing I
FAKULTAS TEKNIK



(Jufrizal, S.T., MT)
Dosen Pembimbing I
PRODI. TEKNIK

Tanggal Lulus: 04 Oktober 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 04 Oktober 2023



Bona Pasogit Pasaribu
178130028

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bona Pasogit Pasaribu
NPM : 178130028
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: Analisis perpindahan panas dari tungku pembakaran sate untuk generator termoelektrik.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Medan
Pada tanggal: 04 Oktober 2023
Yang menyatakan



Bona Pasogit Pasaribu
(178130028)

ABSTRAK

Analisis perpindahan panas dari tungku pembakaran sate untuk generator termoelektrik adalah judul penelitian. Berapa daya termoelektrik yang tercipta pada tungku pembakaran sate dengan bahan bakar 1 kg arang dan berapa besar perpindahan panas yang terjadi pada termoelektrik dari tungku pembakaran sate adalah rumusan masalah yang akan dibahas. Berdasarkan konteksnya, penelitian ini dilakukan. Seiring dengan pertumbuhan penduduk, kemajuan teknologi khususnya di bidang pendidikan, kebutuhan akan energi listrik akan terus meningkat. Tujuan penulis adalah untuk mempelajari perpindahan panas dari tusuk sate ke termoelektrik dan listrik yang dihasilkan oleh termoelektrik di tusuk sate.

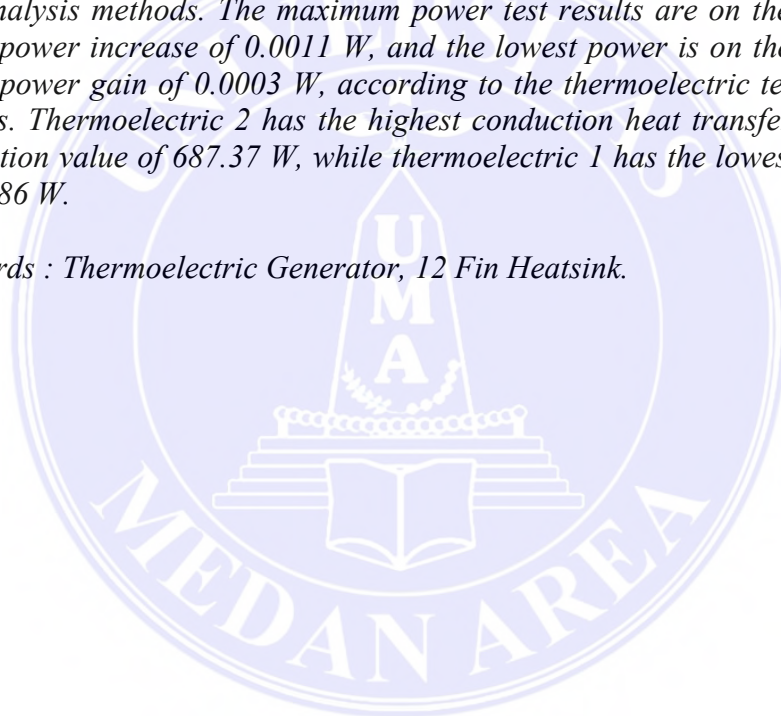
Metodologi penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimen dengan metode analisis data berbasis Excel. Hasil uji daya maksimum pada termoelektrik 1 dengan kenaikan daya 0,0011 W, dan daya terendah pada termoelektrik 2 dengan penguatan daya 0,0003 W, sesuai dengan data uji termoelektrik pada tungku sate. Termoelektrik 2 memiliki laju perpindahan panas konduksi tertinggi dengan nilai perolehan 687,37 W, sedangkan termoelektrik 1 memiliki nilai terendah dengan nilai 521,86 W.

Kata Kunci : *Thermoelectric Generator* , *Heatsink* 12 Sirip.

ABSTRACT

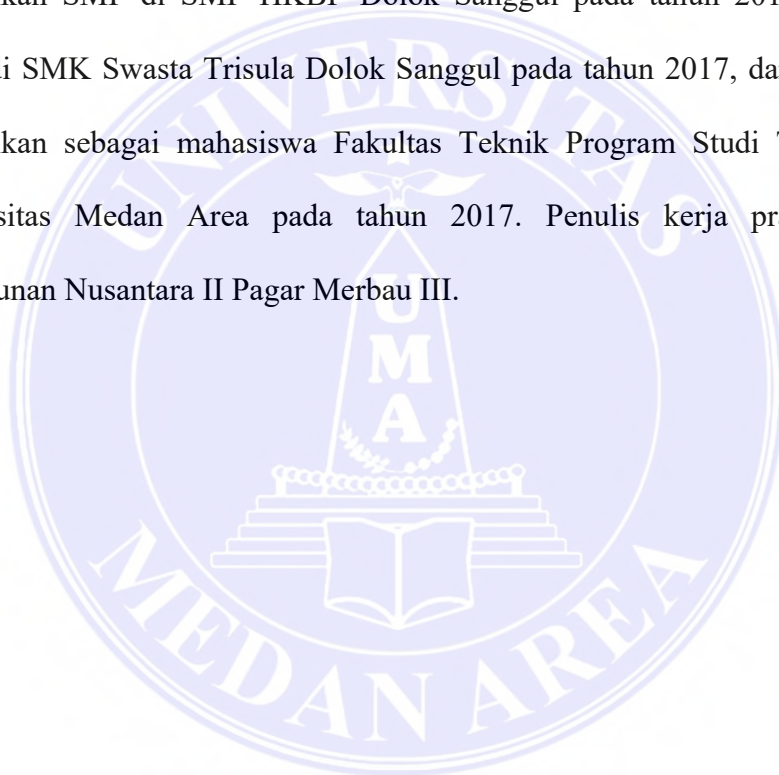
Analysis of heat transmission from a wood burning stove for a thermoelectric generator is the name of the work. What is the thermoelectric power created in a satay burning stove with 1 kg of charcoal as fuel and how much heat transfer happens in the thermoelectric from the satay burning stove are the formulations of the issue to be addressed. Based on the context, the research was carried out. Along with population growth, technological advancements, especially those in the field of education, the need for electrical energy will continue to rise. The authors' goal is to examine both the heat transfer from the skewers to the thermoelectric and the electricity produced by the thermoelectric in the skewers. The study methodology employed is an experimental approach with Excel-based data analysis methods. The maximum power test results are on thermoelectric 1 with a power increase of 0.0011 W, and the lowest power is on thermoelectric 2 with a power gain of 0.0003 W, according to the thermoelectric test data on the skewers. Thermoelectric 2 has the highest conduction heat transfer rate with an acquisition value of 687.37 W, while thermoelectric 1 has the lowest with a value of 521.86 W.

Keywords : Thermoelectric Generator, 12 Fin Heatsink.



RIWAYAT HIDUP

Penulis Bona Pasogit Pasaribu lahir pada tanggal 2 Maret 1998 dari orang tua Mangoloi Pasaribu dan Tamarlina Sianturi di Desa Pasaribu, Kec. Dolok Sanggul, Kab. Humbang Hasundutan. Putra ketiga dari lima bersaudara, penulis. Penulis menyelesaikan pendidikan dasarnya di SDN 001 Bagan Batu pada tahun 2011, pendidikan SMP di SMP HKBP Dolok Sanggul pada tahun 2014, pendidikan SMA di SMK Swasta Trisula Dolok Sanggul pada tahun 2017, dan melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area pada tahun 2017. Penulis kerja praktek di PT. Perkebunan Nusantara II Pagar Merbau III.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah *thermoelectric* dengan judul : Analisis Perpindahan Panas Dari Tungku Pembakaran Sate Untuk Generator *Thermoelectric*.

Terimakasih penulis sampaikan kepada bapak Jufrizal, S.T., M.T selaku pembimbing tugas akhir serta segenap bapak/ibu dosen dan pegawai birokrasi administrasi program studi teknik mesin universitas medan area yang telah banyak membantu dan memberikan saran. Disamping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada seluruh teman-teman seperjuangan yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu penulis berharap kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi kebaikan dan kesempurnaan dimasa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat, akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Medan, 04 Oktober 2023
Penulis



Bona Pasogit Pasaribu
(178130028)

DAFTAR ISI

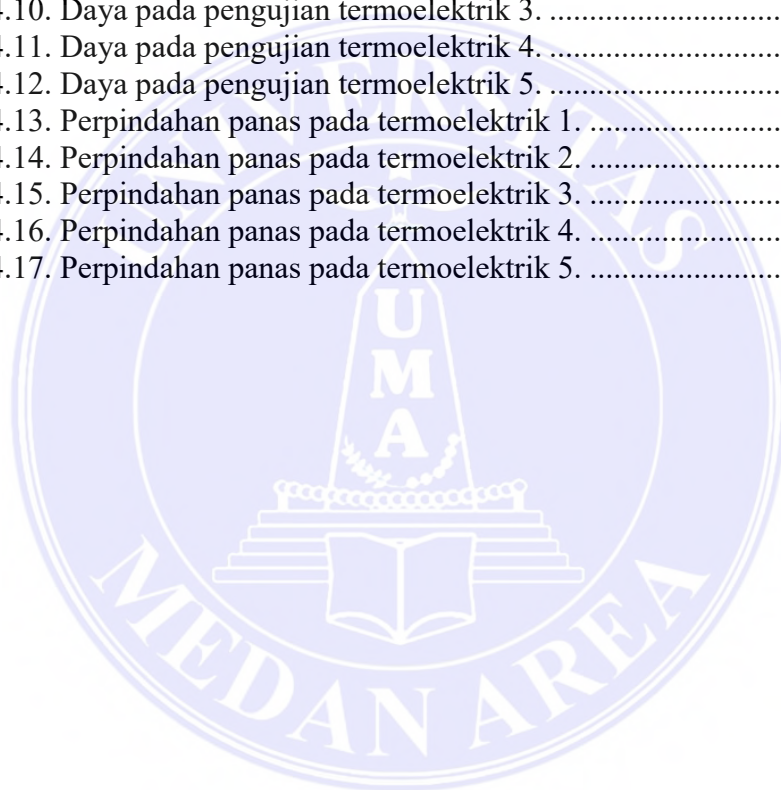
| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI..... | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| ABSTRAK | v |
| RIWAYAT HIDUP..... | vii |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR NOTASI..... | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Hipotesis Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Kinerja Termoelektrik..... | 5 |
| 2.1.1 Prinsip Kerja Termoelektrik..... | 8 |
| 2.1.2 Pembangkit Listrik Termoelektrik | 12 |
| 2.1.3 Konduksi Melalui Lapisan Gas Tipis..... | 19 |
| 2.1.4 Konduksi Melalui Film Padat Tipis | 21 |
| 2.2 Daya Listrik | 21 |
| 2.3.1 Perpindahan Kalor Konduksi | 23 |
| 2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi..... | 23 |
| 2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi | 24 |
| 2.3.4 Tahanan Termal | 25 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 27 |
| 3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian | 27 |
| 3.1.1 Tempat Penelitian..... | 27 |
| 3.1.2 Waktu Penelitian | 27 |
| 3.2 Peralatan dan Bahan..... | 28 |
| 3.2.1 Peralatan | 28 |
| 3.2.2 Bahan | 30 |
| 3.3 Metode Penelitian | 31 |
| 3.3.1 Sistematika Penulisan | 31 |
| 3.3.2 Prosedur Penelitian..... | 32 |
| 3.4 Diagram Alir Penelitian | 33 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 34 |
| 4.1 Hasil Pengujian | 35 |
| 4.1.1 Hasil Panas Pada Tungku..... | 35 |
| 4.1.2 Hasil data pengujian termoelektrik | 35 |
| 4.1.3 Hasil data daya pada termoelektrik | 37 |
| 4.1.4 Hasil data perpindahan panas pada termoelektrik..... | 39 |
| 4.2 Pembahasan Pengujian | 42 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1 Pembahasan hasil data daya pada termoelektrik | 42 |
| 4.2.2 Pembahasan perpindahan panas konduksi pada termoelektrik | 42 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN | 43 |
| 5.1 Simpulan | 43 |
| 5.2 Saran | 44 |
| DAFTAR PUSTAKA | 44 |
| LAMPIRAN | 46 |



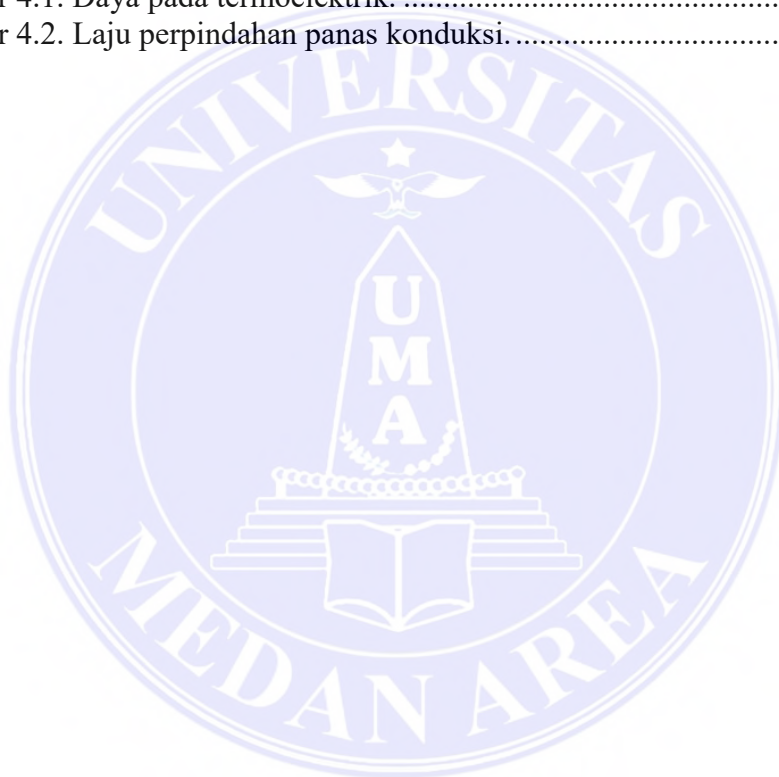
DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1. Waktu Kegiatan Penelitian..... | 27 |
| Tabel 4.1. Hasil data pengujian panas pada tungku variasi 1. | 35 |
| Tabel 4.2. Data hasil pengujian panas pada tungku variasi 2. | 35 |
| Tabel 4.3. Hasil pengujian termoelektrik 1..... | 36 |
| Tabel 4.4. Hasil pengujian termoelektrik 2..... | 36 |
| Tabel 4.5. Hasil pengujian termoelektrik 3..... | 36 |
| Tabel 4.6. Hasil pengujian termoelektrik 4..... | 37 |
| Tabel 4.7. Hasil pengujian termoelektrik 5..... | 37 |
| Tabel 4.8. Daya pada pengujian termoelektrik 1. | 37 |
| Tabel 4.9. Daya pada pengujian termoelektrik 2. | 38 |
| Tabel 4.10. Daya pada pengujian termoelektrik 3. | 38 |
| Tabel 4.11. Daya pada pengujian termoelektrik 4. | 38 |
| Tabel 4.12. Daya pada pengujian termoelektrik 5. | 39 |
| Tabel 4.13. Perpindahan panas pada termoelektrik 1. | 40 |
| Tabel 4.14. Perpindahan panas pada termoelektrik 2. | 40 |
| Tabel 4.15. Perpindahan panas pada termoelektrik 3. | 40 |
| Tabel 4.16. Perpindahan panas pada termoelektrik 4. | 40 |
| Tabel 4.17. Perpindahan panas pada termoelektrik 5. | 41 |



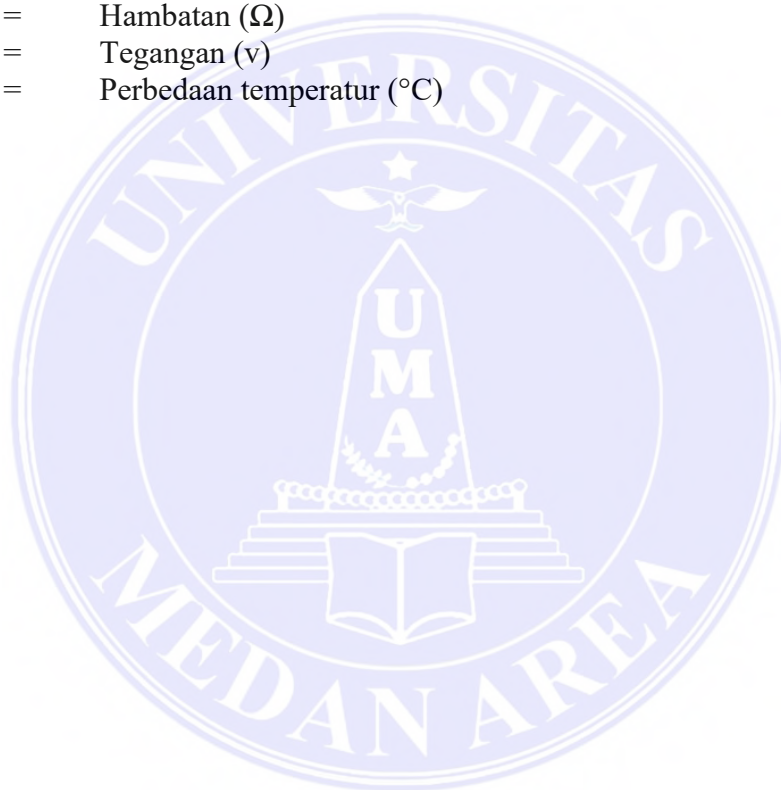
DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. <i>Thermoelectric conversion</i> material potensi. | 7 |
| Gambar 2.2. <i>Thermoelectric</i> Generator. | 8 |
| Gambar 2.3. Fenomena termoelektrik. | 13 |
| Gambar 2.4. Modul Termoelektrik. | 17 |
| Gambar 2.5. Lintasan molekul. | 20 |
| Gambar 2.6. Konduksi satu dimensi. | 26 |
| Gambar 3.1. Multitester. | 28 |
| Gambar 3.2. <i>Thermo gun</i> | 29 |
| Gambar 3.3. Peltier TEG. | 30 |
| Gambar 3.4. Tungku sate. | 31 |
| Gambar 4.1. Daya pada termoelektrik. | 42 |
| Gambar 4.2. Laju perpindahan panas konduksi. | 43 |



DAFTAR NOTASI

| | | |
|------------|---|---|
| Q | = | Laju perpindahan panas (W) |
| dx | = | Ketebalan bahan (m) |
| dT | = | Perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$) |
| k | = | Konduktivitas material ($\text{W/m } ^{\circ}\text{C}$) |
| A | = | Luas penampang (m^2) |
| P | = | Daya listrik (W) |
| T_1 | = | Suhu plat ($^{\circ}\text{C}$) |
| T_2 | = | Suhu termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$) |
| I | = | Kuat arus (Amper) |
| R | = | Hambatan (Ω) |
| V | = | Tegangan (v) |
| ΔT | = | Perbedaan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, kemajuan teknis terutama kemajuan pendidikan, kebutuhan akan energi listrik akan terus meningkat (Hasra Rafika, 2016). Kebutuhan energi listrik tidak akan lepas dari kebutuhan makhluk hidup dalam menjalankan aktifitas sehari-hari. Hal ini berdampak dengan seiring meningkatnya pertumbuhan yang sangat pesat dalam bidang teknologi, kebutuhan energi akan semakin meningkat, akan tetapi tidak semua sumber energi yang digunakan saat ini dapat diperbarui sehingga seiring berjalannya waktu suatu saat energi ini akan habis. Seperti contoh energi yang tidak dapat diperbarui yaitu energi Konvensional.

Energi Konvensional adalah energi yang tersedia dengan jumlah terbatas. Salah satu contoh energi konvensional yang paling banyak digunakan adalah energi fosil. Energi fosil merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang terjadi akibat adanya penimbunan fosil selama berjuta-juta tahun lamanya. Parahnya energi fosil inilah yang paling banyak digunakan saat ini. Energi fosil seperti batubara mendominasi energi yang paling besar digunakan dengan mencapai 46,7% pada tahun 2013.

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja, menurut Eugene C. Lister, sebagaimana ditafsirkan oleh Hanapi Gunawan pada tahun 1993. Energi juga merupakan bentuk kerja yang tersimpan. Mampu berbisnis adalah bagaimana pemahaman ini mirip dengan fisika (Kamajaya, 1986). Energi tidak

dapat dibangkitkan atau dimusnahkan, sesuai dengan aturan kekekalan energi. Hanya energi yang dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Mirip dengan bagaimana energi mekanik (gerak) diubah menjadi energi listrik, energi listrik adalah hasil akhirnya. Adalah layak untuk memanfaatkan sepenuhnya energi listrik yang ada.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk proses konversi panas menjadi listrik langsung saat ini adalah teknologi termoelektrik. *Thermoelectric generator (TEG)* yang sumber energinya dapat menggunakan limbah panas merupakan salah satu teknologi hijau yang dibutuhkan sebagai alternatif sumber energi masa depan (Rowe, 2006). Teknologi ini menjanjikan alternatif pembangkitan listrik yang luar biasa karena mempunyai beberapa kelebihan. Beberapa kelebihan dari TEG ini antara lain adalah, sangat dapat diandalkan (biasanya melebihi 100.000 jam operasi kondisi stedi), tanpa suara saat dioperasikan karena tidak memiliki bagian mekanik yang bergerak, tidak membutuhkan pemeliharaan lebih, sederhana, kompak dan aman, memiliki ukuran yang sangat kecil dan sangat ringan, mampu beroperasi pada suhu tinggi, mampu beroperasi untuk skala kecil dan lokasi terpencil, ramah lingkungan, dan sumber energi yang fleksibel. Kelebihan-kelebihan tersebut menyebabkan studi mengenai aplikasi generator termoelektrik banyak dilakukan (Ismail, 2009).

Pada penelitian sebelumnya dengan judul konversi energi termal surya menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik. Peneliti menggunakan variabel susunan sambungan generator termoelektrik (seri dan varalel). Hasil penelitian sebelumnya mendapatkan bahwa dengan perbedaan temperatur 12,8 °C menghasilkan daya maksimum sebesar 2,214 watt dari

susunan seri sambungan termoelektrik sementara dengan perbedaan temperatur 15,4 °C mendapatkan daya maksimum sebesar 0,101 watt dari susunan varalel sambungan termoelektrik (Lian, 2022).

Adapun kegunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari yaitu sebagai penerangan, pemanas, motor listrik dan lain-lain. Kebutuhan akan tenaga listrik dari pelanggan selalu bertambah dari waktu ke waktu. Untuk tetap dapat melayani kebutuhan tenaga listrik dari para pelanggan, maka sistem tenaga listrik harus dikembangkan seiring dengan kenaikan kebutuhan akan tenaga listrik dari para pelanggan.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik dan berupaya untuk mencoba memanfaatkan panas dari tungku pembakaran sate menjadi energi listrik. Penulis berasumsi energi panas yang dihasilkan oleh tungku pembakaran sate dapat di ubah menjadi energi listrik dan dapat digunakan sebagai lampu penerangan pada gerobak sate.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa daya yang dihasilkan termoelektrik pada tungku pembakaran sate dengan bahan bakar arang 1 kg?
2. Berapa perpindahan panas yang terjadi pada termoelektrik dari tungku pembakaran sate?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian dan penulisan tugas akhir yaitu:

1. Menganalisis daya yang dihasilkan termoelektrik pada tungku pembakaran sate.
2. Menganalisis perpindahan panas dari tungku pembakaran sate ketermoelektrik.

1.4 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis penelitian yang diharapkan yaitu:

1. Daya yang dihasilkan oleh termoelektrik dapat dimanfaatkan oleh pedagang sate.
2. Data perpindahan panas yang diperoleh dapat diaplikasikan pada alat tertentu sebagai bahan penelitian lanjutan.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Energi panas yang berasal dari tungku bisa dikembangkan menjadi energi listrik menggunakan peralatan termoelektrik.
2. Penulis dapat memahami lebih dalam mengenai perpindahan panas dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja Termoelektrik

Kemajuan teknis yang dikenal sebagai termoelektrik memungkinkan konversi langsung energi panas menjadi energi listrik, atau sebaliknya, khususnya dari energi listrik menjadi dingin (pendinginan). Efek *Seebeck* adalah dasar bagaimana fungsi sistem kerja termoelektrik. Pada tahun 2017 Jojo Sumarjo, Aa Santosa dan Muhammad Imron Permana melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan sumber panas pada kompor menggunakan 10 Termoelektrik Generator dirangkai secara seri untuk aplikasi lampu penerangan”. Pada penelitian ini menggunakan 10 buah Termoelektrik TEG – SP1848-27145SA dengan media pembakaran berupa kayu bakar, Gas elpiji dan Spirtus.

Seiring dengan banyaknya penggunaan sumber listrik yang tidak dapat diperbaharui, peningkatan pertumbuhan ekonomi Indonesia juga terus meningkat sejalan dengan meningkatnya konsumsi energi listrik. Peningkatan konsumsi listrik diperkirakan naik rata-rata 6,5% per tahunnya hingga tahun 2020. Konsumsi listrik yang besar akan menjadi masalah karena jumlah ketersediaan listrik tidak sebanding dengan jumlah kebutuhannya. Kebijakan yang diambil oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara) sebagai BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang menyediakan energi listrik semakin menunjukkan bahwa PLN sudah tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan listrik nasional. Akibatnya semakin menipis cadangan sumber energi listrik, terutama bahan bakar minyak khususnya bahan bakar fosil yang tidak terbarukan.

Hal ini menuntut Indonesia agar mencari bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan. Pernyataan tersebut merupakan bukti bahwa terjadinya krisis ketenagalistrikan di Indonesia. Energi terbarukan merupakan sebuah pengembangan dari berbagai sumber daya yang sudah ada. Berbagai peneliti membuat pengembangan sumber daya yang dapat diperbarui atau dapat digunakan secara terus-menerus, agar bisa digunakan dalam jangka Panjang tanpa takut kehabisan jika digunakan. Peneliti melakukan pengembangan sumber daya listrik karena semakin tinggi permintaan energi listrik. Dikutip dari dinas lingkungan hidup dan kebersihan, konsep dari energi yang terbarukan sendiri baru mulai dikenal secara meluas pada tahun 1970-an. Karena penggunaan energi yang tidak terbarukan secara masif dan besar-besaran maka muncul energi terbarukan yang merupakan sebuah kemajuan atas pengembangannya.

Salah satu energi alternatif atau terbarukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil sebagai penghasil listrik adalah peltier. Peltier dapat membangkitkan energi listrik apabila terjadi perbedaan suhu pada sisi badan peltier. Peltier merupakan elemen *thermo* yang mengimplementasikan efek kerja panas. Peltier ini memiliki dua plat, satu dingin dan satunya panas. Diantara plat ada beberapa *thermocouple* yang merupakan semikonduktor berbahan Bismuth Telluride dengan 2 tipe yang berbeda, satu tipe N dan satunya tipe P.

Media pembakaran tersebut mempengaruhi *output* tegangan yang berbeda. Media pembakaran untuk menghasilkan suhu panas masih belum ramah lingkungan karena menggunakan energi konvensional. Dengan adanya salah satu permasalahan tersebut telah mendorong rencana peneliti membuat tentang “*Prototipe* pembangkit listrik termoelektrik generator menggunakan penghantar

panas aluminium, kuningan dan seng” ini, akan diteliti terkait efisiensi rancang bangun generator termoelektrik yang memanfaatkan bahan yang sederhana untuk bisa mengkonversi energi panas menjadi listrik.

Sumber panas yang digunakan pada penelitian ini yaitu sinar matahari. Sinar matahari yang difokuskan ke bagian penerima panas pada rancangan hingga diperoleh perbedaan suhu panas dan suhu dingin yang akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan metode efek *seebeck*. Sehingga nantinya mampu memberikan suatu rekomendasi alat penghasil listrik yang murah dan sederhana. menjadi listrik melalui modul *photovoltaic*. Dimana disaat matahari tidak memberikan energi yang konstan untuk setiap titik di bumi, sehingga penggunaannya terbatas. Sel surya sering digunakan untuk mengisi daya baterai di siang hari, dan daya dari baterai tersebut digunakan di malam hari ketika cahaya matahari tidak tersedia.

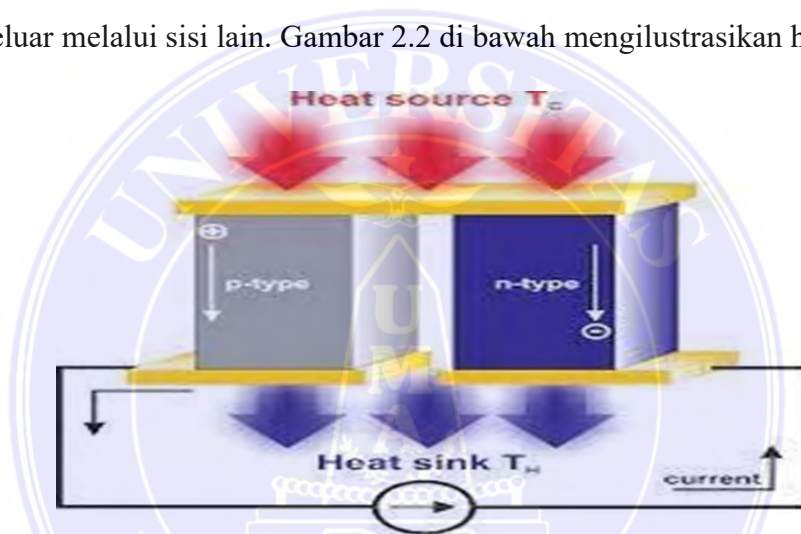
Bahan yang digunakan dalam aplikasi termoelektrik seringkali berupa semikonduktor. Semikonduktor adalah zat yang memiliki kemampuan terbatas untuk menghantarkan listrik. Dalam hal ini, bahan semikonduktor tipe n dan tipe p digunakan dalam termoelektrik.



Gambar 2.1. *Thermoelectric conversion* material potensi.

2.1.1 Prinsip Kerja Termoelektrik

Generator termoelektrik (TEG) beroperasi berdasarkan gagasan bahwa ketika dua (dua) bahan semikonduktor yang berbeda dihubungkan di satu ujung, efek *Seebeck* terjadi dan suhu variabel dikirimkan dari satu ujung ke ujung lainnya (RS Anwar, 2014). Susunan elemen tipe-n atau material yang kekurangan elektron dan susunan elemen tipe-p atau kelimpahan elektron membentuk struktur termoelektrik. Jika panas masuk ke perangkat termoelektrik di satu sisi, itu juga akan keluar melalui sisi lain. Gambar 2.2 di bawah mengilustrasikan hal ini.



Gambar 2.2. *Thermoelectric Generator*.

prinsip kerja generator termoelektrik, material penyusun termoelektrik memiliki peran masing-masing untuk mengalirkan energi panas sehingga dapat menimbulkan beda potensial. Disimpulkan bahwa panas atau kalor pada salah satu sisi dialirkan dan dibuang kesisi lainnya, sehingga terjadi aliran arus, ketika terjadi arus maka terciptalah beda potensial yang memunculkan nilai tegangan listrik. Pada termoelektrik besarnya nilai tegangan adalah sebanding dengan *gradient temperature*.

Nilai beda potensial atau tegangan yang dihasilkan berubah sebanding dengan perubahan temperatur, karena semakin besar temperatur maka semakin

besar pula tegangan yang dihasilkan. Konstanta kesebandingannya disebut dengan koefisien *Seebeck*. Perbedaan suhu pada dua komponen *Bismuth* dan *Telluride*, menyebabkan perpindahan elektron dari kutub negatif ke kutub positif, semakin besar perbedaan suhu, maka semakin cepat perpindahan elektron, sehingga arus yang dihasilkan, akan semakin besar.

Termoelektrik merupakan salah satu teknologi *solid state* di mana pada termoelektrik ini tidak ada bagian yang bergerak ataupun fluida yang mengalir dan *relative* lebih ramah lingkungan. Saat ini modul termoelektrik telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi sebagai pendingin termoelektrik atau lebih dikenal dengan TEC dengan memanfaatkan efek Termoelektrik generator dan sebagai generator termoelektrik atau biasa disebut sebagai TEG yang berfungsi sebagai pembangkit listrik dengan menerapkan efek *Seebeck*.

Efek *Seebeck*, efek Peltier, dan efek Thomson adalah tiga efek yang dapat digunakan untuk menentukan cara kerja dasar generator termoelektrik.

a. Efek *Seebeck*

Efek *Seebeck* merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua buah bahan yang berbeda kemudian ujungnya di sambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambungan ini, maka akan terjadi arus listrik. Prinsip ini yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik). Setiap bahan memiliki koefisien *Seebeck* yang berbeda – beda. Semakin besar koefisien *Seebeck* ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik.

Rasio suhu diubah menjadi energi arus listrik melalui efek *Seebeck*. Akan ada dua koneksi dalam dua LOOP jika ada dua kabel terpisah dan kedua ujung dari masing-masing kabel dihubungkan. Beberapa konduktor dapat digunakan untuk menerapkan efek *seebeck*. Tegangan yang dihasilkan berbeda untuk masing-masing bahan konduktor ini karena masing-masing memiliki nilai koefisien *seebeck* yang berbeda. Koefisien juga menjelaskan bagaimana arus listrik dapat berpindah dari panas ke dingin saat dipanaskan. Tegangan yang ditunjukkan dalam persamaan berikut memiliki kaitan dengan efek *seebeck*:

$$E = \alpha_{pn} \cdot (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

E = GGL (Gerak Gaya Listrik) termal *seebeck* (V)

α_{pn} = Koefesien *Seebeck* (V/°C)

T_2 = Temperatur Panas (°C)

T_1 = Temperatur Dingin (°C)

Adapun persamaan dasar yang digunakan dalam sistem termoelektrik yaitu persamaan dasar koefesien *seebeck* sebagai berikut :

$$\alpha_{pn} = \frac{V}{\Delta T} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

α_{pn} = Koefeisen *Seebeck* (V/°C)

V = Tegangan rata-rata yang dihasilkan (V)

ΔT = Perbedaan temperatur (°C)

b. Efek Peltier

Kegunaan efek *Seebeck* berfungsi sebagai dasar untuk efek Peltier, sebuah termoelektrik. Dalam arti lain, efek Peltier adalah fenomena dimana energi panas

diserap oleh satu sambungan konduktor dan dilepaskan pada sambungan konduktor lain pada sambungan listrik yang dialirkan dalam rangkaian tertutup, atau dengan kata lain, efek Peltier dapat mengubah energi listrik menjadi perubahan suhu. Jean Peltier, seorang peneliti, menemukan efek Peltier pada tahun 1834.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung efek peltier tersebut adalah sebagai berikut :

$$Q_C \text{ atau } Q_h = \alpha_{pn} \cdot T \cdot I \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

Q_C = Panas Pada Terminal Dingin (W)

Q_h = Panas Pada Terminal Panas

α_{pn} = Koefisien *Seebeck*

T = Temperatur (K)

I = Arus Listrik (A)

c. Efek Thomson

Signifikansi efek Thomson selanjutnya akan dibahas. Agar panas dilepaskan dan diserap saat konduktor beroperasi, harus ada konduktor yang dialiri listrik dan perbedaan suhu yang dilindungi. Ini dikenal sebagai efek Thomson. Anda dapat menggambarkan efek Thomson sebagai pengembangan dari efek Peltier. Karena proses pendinginan membutuhkan waktu yang sangat lama, efek Thomson menyebabkan bahan dengan konduktivitas rendah mengakibatkan penggunaan listrik yang sangat tinggi.

$$Q_t = \mu \cdot I \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

Q_t = Panas thomson (W/cm)

M = Koefesien thomson (V/K)

dT/dx = Gardien temperatur semikonduktor

I = Arus listrik yang mengalir (A)

2.1.2 Pembangkit Listrik Termoelektrik

Suatu elemen Termoelektrik generator memiliki dua sisi dimana satu sisi bertindak sebagai bagian panas dan sisi lainnya bertindak sebagai bagian dingin.

Berikut cara kerja *element* termoelektrik generator:

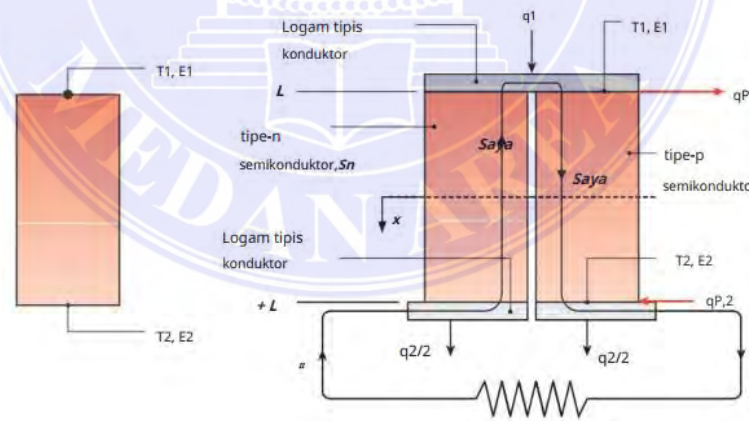
- a. Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengonversikan energi panas menjadi energi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai.
- b. Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara, tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin mesin pendingin konvensional.

Seperti disebutkan sekitar 60% energi yang dikonsumsi secara global terbuang dalam bentuk panas tingkat rendah. Dengan demikian, ada peluang untuk memanen aliran energi ini dan mengubahnya menjadi kekuatan yang bermanfaat. Salah satu pendekatan melibatkan pembangkit listrik termoelektrik, yang beroperasi berdasarkan prinsip dasar yang disebut efek *Seebeck* yang

menyatakan ketika gradien suhu ditetapkan dalam suatu bahan, gradien tegangan yang sesuai diinduksi. Properti material yang mewakili proporsionalitas antara gradien tegangan dan suhu dan, karenanya memiliki satuan volt/K. Untuk bahan properti konstan yang mengalami konduksi satu dimensi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar

$$(E_1 - E_2) = S (T_1 - T_2) \dots \dots \dots (2.5)$$

Bahan penghantar listrik dapat menunjukkan nilai positif atau negatif dari koefisien *Seebeck*, tergantung pada bagaimana mereka menyebarkan elektron. Koefisien *Seebeck* sangat kecil dalam logam, tetapi bisa relatif besar di beberapa bahan semikonduktor. Jika bahan dipasang di rangkaian listrik, perbedaan tegangan yang disebabkan oleh efek *Seebeck* dapat menggerakkan arus listrik *I*, dan tenaga listrik dapat dihasilkan dari limbah panas yang menginduksi perbedaan suhu di seluruh material.



Gambar 2.3. Fenomena termoelektrik.

Rangkaian termoelektrik yang disederhanakan, terdiri dari dua pelet bahan semikonduktor, ditunjukkan pada Gambar 2.3. Dengan mencampurkan sejumlah kecil elemen sekunder ke dalam bahan pelet, arah arus yang diinduksi oleh efek Seebeck dapat dimanipulasi. Semikonduktor tipe p dan n yang dihasilkan, yang

masing-masing ditandai dengan koefisien *Seebeck* positif dan negatif, dapat diatur seperti yang ditunjukkan pada gambar. Panas disuplai ke atas dan hilang dari bagian bawah rakitan, dan konduktor logam tipis menghubungkan semikonduktor ke beban eksternal yang diwakili oleh hambatan listrik, R_e , beban. Pada akhirnya, jumlah daya listrik yang dihasilkan diatur oleh laju perpindahan panas ke dan dari pasangan pelet semikonduktor.

Selain menginduksi arus listrik I , efek termoelektrik juga menginduksi pembangkitan atau penyerapan panas pada antarmuka antara dua bahan yang berbeda. Sumber panas atau fenomena heat sink ini dikenal sebagai efek Peltier, dan jumlah panas yang diserap q_P terkait dengan koefisien *Seebeck* dari bahan yang berdekatan dengan persamaan bentuk.

Dimana koefisien *Seebeck* individu dalam ekspresi sebelumnya, S_p dan S_n , sesuai dengan semikonduktor tipe p dan n, dan koefisien *Seebeck* diferensial adalah $S_p - n - S_p - S_n$. Suhu dinyatakan dalam kelvin. Penyerapan panas positif (pembangkitan negatif) ketika arus listrik mengalir dari tipe-n ke semikonduktor tipe-p.

Oleh karena itu, penyerapan panas Peltier terjadi pada antarmuka hangat antara pelet semikonduktor dan konduktor logam tipis atas, sedangkan pembangkitan panas Peltier terjadi pada antarmuka dingin antara pelet dan konduktor bawah. Ketika T_1 T_2 , laju perpindahan panas ke dan dari perangkat, masing-masing q_1 dan q_2 , dapat ditemukan dengan menyelesaikan bentuk persamaan energi yang sesuai. Untuk *steady-state*, konduksi satu dimensi dalam perakitan hasil analisis sebagai berikut.

Dengan asumsi konektor logam tipis memiliki konduktivitas termal dan

listrik yang relatif tinggi, disipasi Ohmik terjadi secara eksklusif di dalam pelet semikonduktor, yang masing-masing memiliki luas penampang $A_{c,s}$. Resistansi termal dari konduktor logam diasumsikan dapat diabaikan, seperti halnya perpindahan panas dalam gas apa pun yang terperangkap di antara pelet semikonduktor. Menyadari bahwa hambatan listrik dari masing-masing dari dua pelat dapat dinyatakan sebagai $R_{e,s} = \rho_{e,s}(2L) / A_{c,s}$ dimana $\rho_{e,s}$ adalah resistivitas listrik dari bahan semikonduktor, dapat digunakan untuk menemukan laju pembangkitan volumetrik yang seragam dalam setiap pelat.

$$q = \frac{I^2 \rho_{e,s}}{A^2_{c,s}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan asumsi resistansi kontak yang dapat diabaikan dan sifat termofisik yang identik, serta konstan, di masing-masing dari dua pelat (dengan pengecualian adalah S_p Sn), dapat digunakan untuk menulis ekspresi untuk konduksi panas keluar dari dan ke dalam bahan semikonduktor.

$$q(x=L) = A^2_{c,s} \left[\frac{K_S}{2L} (T_1 - T_2) + \frac{I^2 \rho_{e,s} L}{A^2_{c,s}} \right] \dots \dots \dots (2.7)$$

$$q(x=-L) = A^2_{c,s} \left[\frac{K_S}{2L} (T_1 - T_2) - \frac{I^2 \rho_{e,s} L}{A^2_{c,s}} \right] \dots \dots \dots (2.8)$$

Faktor 2 di luar tanda kurung menyumbang perpindahan panas di kedua pelet dan, sebagaimana terbukti, $q(x=L) = -q(x=-L)$. Karena efek Peltier, q_1 dan q_2 tidak sama dengan laju perpindahan panas masuk dan keluar dari pelat seperti yang dinyatakan dalam Persamaan 2.7. Menggabungkan Persamaan 2.8 dalam keseimbangan energi untuk permukaan kontrol tentang antarmuka antara konduktor logam tipis dan bahan semikonduktor pada hasil $x=L$.

$$q_1 = q(x=L) + q_{p,i} = q(x=L) + IS_{p-n} T_1 \dots \dots \dots (2.9)$$

Demikian pula pada $x = L$,

$$q_2 = q(x = L) - IS_{n,p} T_2 = q(x = L) + IS_{p-n} T_2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Menggabungkan Persamaan diatas menghasilkan.

$$q_1 = \frac{A_{c,s} k_{s,s}}{L} (T_1 - T_2) + IS_{p-n} T_1 - 2 \frac{I^2 p_{e,s} L}{A_{c,s}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Demikian pula, menggabungkannya memberikan persamaan baru

$$q_2 = \frac{A_{c,s} k_{s,s}}{L} (T_1 - T_2) + IS_{p-n} T_2 + 2 \frac{I^2 p_{e,s} L}{A_{c,s}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dari neraca energi keseluruhan pada perangkat termoelektrik, dihasilkan daya listrik oleh efek *seebeck* adalah

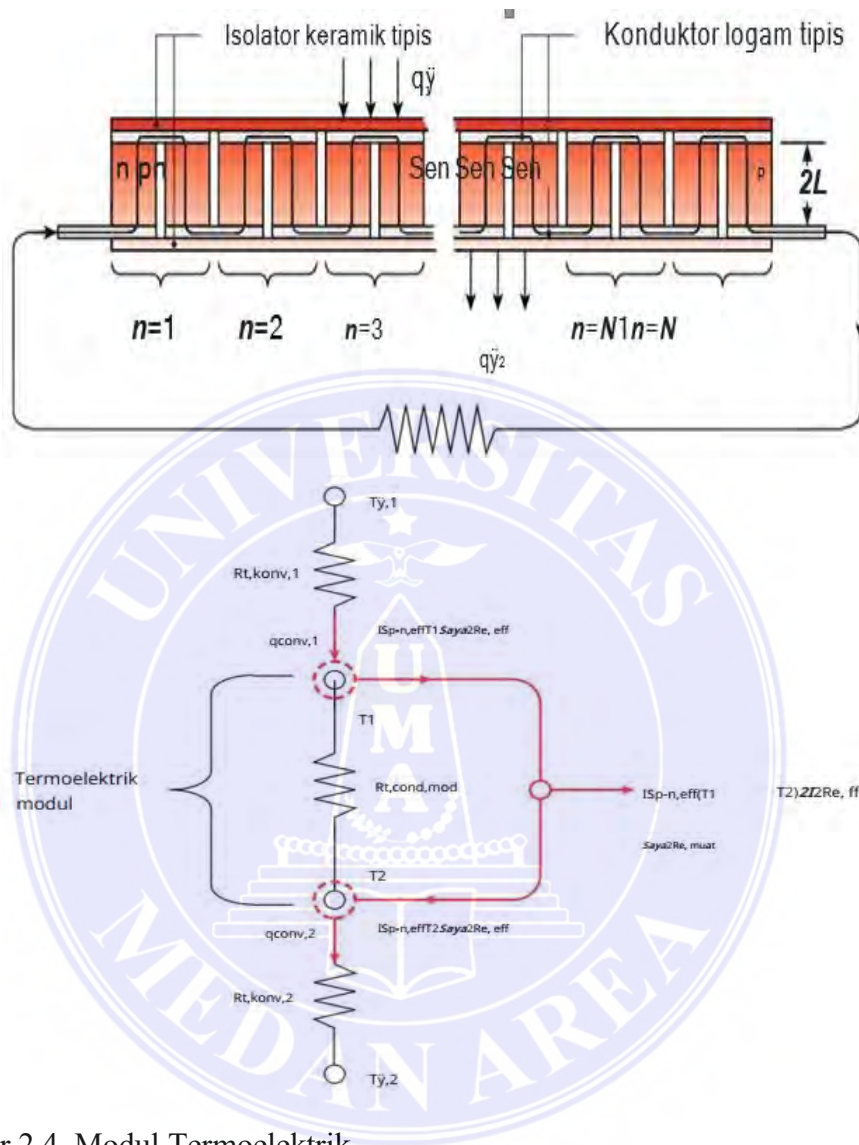
$$P = q_1 - q_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Perbedaan tegangan yang disebabkan oleh efek *Seebeck* relatif kecil untuk sepasang pelat semikonduktor tunggal. Untuk memperkuat perbedaan tegangan, modul termoelektrik dibuat, seperti yang ditunjukkan secara skematis di mana N 1 pasang pelat semikonduktor dihubungkan secara seri. Lapisan tipis dari bahan dielektrik, biasanya keramik, mengapit modul untuk memberikan kekakuan struktural dan isolasi listrik dari sekitarnya. Material semikonduktor menjadi komponen yang penting dalam termoelektrik sebagai pengubah energi panas menjadi energi listrik. terdapat dua jenis material semikonduktor, yaitu tipe-p dan tipe-n. Material semikonduktor disebut tipe-p jika memiliki pembawa muatan yang bernilai positif sedangkan tipe-n jika memiliki pembawa muatan yang bernilai negatif (Zeng, Y,J,et al,2017).

Efek termoelektrik adalah peristiwa pengkonversian secara langsung dari energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya karena beda suatu material.

Material generator termoelektrik terbuat dari bahan semikonduktor dari tipe-p dan

tipe-n. Material tipe-p adalah material yang kekurangan *electron* dan tipe-n adalah kelebihan *electron*.



Gambar 2.4. Modul Termoelektrik.

resistensi termal dari lapisan keramik tipis dapat diabaikan, q_1 , q_2 , dan total daya listrik modul, P_N , dapat ditulis dengan memodifikasi Persamaan sebagai berikut.

$$q_1 = \frac{1}{R_{t,cond,mod}} (T_1 - T_2) + I S_{p-n,eff} T_1 - I^2 R_{e,eff} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$q_1 = \frac{1}{R_{t,cond,mod}} (T_1 - T_2) + I S_{p-n,eff} T_2 - I^2 R_{e,eff} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$P_N = q_1 - q_2 = IS_{p-n,eff}(T_1 - T_2) - 2I^2 R_{e,eff} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana $S_{p-n,eff}$, NS_{p-n} , dan $R_{e,eff}$ adalah koefisien *Seebeck* yang efektif dan total hambatan listrik internal modul sementara $R_{t,cond}$, $mod L / NA$ adalah resistansi konduksi yang terkait dengan matriks semikonduktor p-n modul. Sirkuit termal yang setara untuk modul termoelektrik yang dipanaskan dan didinginkan secara konvektif. Jika pemanasan atau pendinginan diterapkan oleh radiasi atau konduksi, jaringan resistansi di luar bagian modul termoelektrik dari rangkaian akan dimodifikasi sesuai dengan itu. Kembali ke rangkaian termoelektrik tunggal, efisiensi didefinisikan sebagai $TE P/q_1$. Dari Persamaan dapat dilihat bahwa efisiensi tergantung pada arus listrik secara kompleks. Namun, efisiensi dapat dimaksimalkan dengan menyesuaikan arus melalui perubahan resistansi beban. Efisiensi maksimum yang dihasilkan diberikan sebagai.

$$\eta_{TE} = \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) \frac{\sqrt{1+ZT}}{\sqrt{1+ZT} + T_2/T_1} \dots\dots\dots(2.17)$$

Karena efisiensi meningkat dengan meningkatnya ZT , ZT dapat dilihat sebagai tidak berdimensi – figure of merit yang terkait dengan pembangkitan termoelektrik. Seperti yang dibahas dalam bagian efisiensi *Carnot* dan pada gilirannya, efisiensi termoelektrik tidak dapat ditentukan sampai suhu panas dan dingin yang sesuai dihitung dari analisis perpindahan panas. Karena ZT didefinisikan dalam hal konduktivitas listrik dan termal yang saling terkait, penelitian ekstensif sedang dilakukan untuk menyesuaikan sifat-sifat pelat semikonduktor, terutama dengan memanipulasi struktur nano bahan sehingga secara independen mengontrol gerakan fonon dan elektron dan, pada gilirannya, konduktivitas termal dan listrik dari material. Saat ini, nilai ZT kira-kira kesatuan

pada suhu kamar mudah dicapai. Akhirnya, kami mencatat bahwa modul termoelektrik dapat dioperasikan secara terbalik. Memasok daya listrik ke modul memungkinkan seseorang untuk mengontrol laju perpindahan panas ke atau dari permukaan keramik luar. Pendingin termoelektrik atau pemanas termoelektrik semacam itu digunakan dalam berbagai aplikasi. Diskusi komprehensif tentang pemodelan perpindahan panas satu dimensi dan keadaan stabil yang terkait dengan modul pemanas dan pendingin termoelektrik tersedia.

2.1.3 Konduksi Melalui Lapisan Gas Tipis

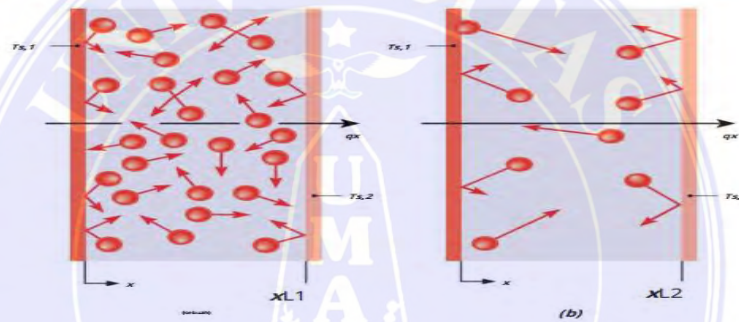
Menunjukkan lintasan sesaat dari molekul gas antara dua permukaan padat isothermal yang dipisahkan oleh jarak L . bahkan tanpa adanya dalam jumlah besar gerak fluida molekul individu secara terus-menerus menimpa dua batas padat yang masing-masing berada pada suhu permukaan seragam $T_{s,1}$ dan $T_{s,2}$. Molekul juga bertabrakan satu sama lain, bertukar energi di dalam media gas. Ketika ketebalan lapisan gas besar, molekul gas tertentu akan lebih sering bertabrakan dengan molekul gas lain dari pada dengan salah satu batas padat. Atau, untuk lapisan gas yang sangat tipis, kemungkinan sebuah molekul menumbuk salah satu batas padat relatif tinggi dibandingkan dengan kemungkinan molekul itu bertubrukan dengan molekul lain.

Kandungan energi molekul gas dikaitkan dengan energi kinetik translasi, rotasi, dan vibrasinya. Energi kinetik skala molekul inilah yang pada akhirnya menentukan suhu gas, dan tumbukan antar molekul individu menentukan nilai konduktivitas termal, seperti yang dibahas dalam Bagian sebelumnya. Namun, cara molekul gas dipantulkan atau dihamburkan dari dinding padat juga mempengaruhi tingkat energi kinetiknya dan suhunya. Oleh karena itu, tumbukan dinding-

molekul dapat menjadi penting dalam menentukan laju panas, q_x , karena L/mfp menjadi kecil. tabrakan dengan dan selanjutnya hamburan molekul gas individu dari padatan dinding dapat dijelaskan dengan a koefisien akomodasi termal.

$$\alpha = \frac{T_i - T_{sc}}{T_i - T_s} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana T_i adalah suhu molekul efektif sesaat sebelum menumbuk permukaan padat, T_{sc} adalah suhu molekul segera setelah dihamburkan atau dipantulkan oleh permukaan, dan T_s adalah suhu permukaan. Ketika suhu molekul yang tersebar identik dengan suhu dinding.



Gambar 2.5. Lintasan molekul

Untuk konduksi satu dimensi di dalam gas ideal yang berada di antara dua permukaan yang dipegang pada temperatur $T_{s,1}$ dan $T_{s,2}$ $T_{s,1}$, tingkat panas melalui lapisan gas mungkin dinyatakan sebagai.

$$q = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{(R_{t,m-m} + R_{t,m-s})} \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana, pada tingkat molekuler, resistensi termal dikaitkan dengan tumbukan molekul-molekul dan molekul permukaan

$$R_{t, m-m} = \frac{L}{kA} \text{ dan } R_{t, m-s} = \frac{\lambda mfp}{kA} \left[\frac{2 - \alpha t}{\alpha t} \right] \left[\frac{9\gamma - 5}{\gamma + 1} \right] \dots\dots(2.20)$$

dalam pernyataan sebelumnya, cp/cv adalah rasio panas spesifik dari gas ideal.

Dua padatan diasumsikan sebagai bahan yang sama dengan nilai dan te yang sama

t, adalah relatif terhadap dinding dingin, $(T_{s,1}-T_{s,2})/T_{s,21}$. Persamaan dapat digabungkan untuk menghasilkan

$$\frac{R_{t,m-s}}{R_{t,m-m}} = \frac{\lambda mfp}{kA} = \left[\frac{2-\alpha t}{\alpha t} \right] \left[\frac{9\gamma-5}{\gamma+1} \right] \dots\dots\dots(2.21)$$

dari mana terbukti bahwa R_t , msdapat diabaikan jika L/mfp besar dan $0.t$ Pada kasus ini, Persamaan direduksi menjadi Persamaan 3.6. Namun, R_t , bisa signifikan jika L/mfp kecil. Dari jalur bebas rata-rata meningkat seiring dengan penurunan tekanan gas. Karena itu, R_t , meningkat dengan penurunan tekanan gas, dan laju panas dapat bergantung pada tekanan ketika L/mfp kecil.

2.1.4 Konduksi Melalui Film Padat Tipis

Konduksi satu dimensi melintasi atau sepanjang film padat tipis dibahas pada dalam kaitannya dengan konduktivitas thermal k, dan k laju perpindahan panas melintasi film padat tipis dapat didekati dengan menggabungkan persamaannya.

$$q_x = \frac{KxA}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \frac{k[1 - \lambda mfp/(3L)]A}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \dots(2.22)$$

$(T_1 - T_2)$ Ketika L/ Amp besar, persamaan direduksi menjadi banyak ekspresi alternatif untuk k, tersedia dan dibahas dalam literatur.

2.2 Daya Listrik

Kuantitas energi yang dapat dikonsumsi atau dibuat dalam suatu rangkaian dikenal sebagai tenaga listrik. Jelas bahwa sumber energi, seperti tegangan listrik, menyediakan listrik sementara beban yang menyertainya mengkonsumsinya. Dalam istilah lain, jumlah energi yang dikonsumsi oleh suatu rangkaian atau rangkaian listrik disebut juga sebagai daya listrik. Kita dapat menggunakan lampu pijar dan pemanas sebagai contoh. Lampu pijar dapat mengubah daya listrik

menjadi cahaya, tetapi pemanas dapat melakukan sebaliknya dengan mengubah daya listrik yang diterima menjadi panas. Konsumsi listrik meningkat dengan meningkatnya watt (A. Wahid, 2017). Dengan memantau tegangan dan arus saat komponen termoelektrik beroperasi, kita dapat menentukan berapa banyak listrik yang kita konsumsi. Formulasi ini mengarah ke persamaan daya listrik berikut:

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

$$I = V/R \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:

I = Arus listrik (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R = Hambatan (Ohm)

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana:

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

2.3 Perpindahan Kalor

Ilmu yang mempelajari perpindahan energi yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara bahan atau benda dikenal dengan perpindahan kalor. Kita

dapat menyimpulkan dari termodinamika bahwa energi yang ditransmisikan dikenal sebagai kalor atau disebut juga kalor. Perpindahan panas dapat mengukur laju perpindahan panas yang terjadi dalam keadaan tertentu selain menjelaskan bagaimana energi panas diangkut dari satu item ke item lainnya.

2.3.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Kami menyadari bahwa perpindahan panas melalui konduksi terjadi ketika dua benda bersentuhan. Biasanya benda padat bisa mengalami perpindahan ini. Benda padat akan bermigrasi ke lokasi yang lebih cenderung dingin karena panas yang dikandungnya. Namun, dalam transfer ini dikatakan bahwa prosesnya memakan waktu sangat lama karena partikel tidak ikut bergerak bersamanya (P. Flammability, 2018). Selain itu, setelah membahas konsep konduksi, kita akan membahas tentang persamaan konduksi:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

Q = Laju perpindahan panas (W)

k = konduksi termal benda atau material (73 W/m.°C)

A = Luas penampang pada batang (m²)

dT = Perubahan suhu (°C)

dx = Ketebalan bahan (m)

2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi Perpindahan panas didefinisikan sebagai perpindahan atau aliran pencampuran dari komponen yang panas ke komponen yang dingin. Ada dua jenis perpindahan panas konveksi: konveksi paksa dan konveksi bebas. Jika ada pergerakan fluida yang disebabkan oleh konveksi bebas—variasi densitas yang

disebabkan oleh perbedaan temperatur. Jika ada gaya koersif eksternal, seperti pompa, mendorong fluida sedemikian rupa sehingga mengalir melintasi permukaan, itulah yang menyebabkan fluida bergerak (S. Idawati Supu, 2016).

$$Q = h \cdot A (T_w - T_f) \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

Q = laju perpindahan panas dengan cara konveksi (Watt)

A = Luas penampang (m²)

T_w = Temperatur dingin (K)

T_f = Temperaur fluida (K)

h = Koefesien perpindahan panas konveksi (W/m. K)

2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Panas disampaikan menggunakan gelombang elektromagnetik atau jenis energi lain yang dapat menempuh jarak jauh tanpa berinteraksi dengan media dalam proses yang dikenal sebagai perpindahan panas radiasi. Proses radiasi adalah fenomena permukaan; itu tidak terjadi di dalam substansi. Namun, jika suatu material dapat menyerap cahaya, berbagai hal dapat terjadi. Jumlah energi panas yang mengenai suatu permukaan sebagian dipantulkan, sebagian diserap, dan sebagian ditransmisikan melalui permukaan. Permukaan fisik akan terlibat dalam pengangkutan panas radiasi (Z. Ma, M. Arsana, 2012). Rumus perhitungan laju perpindahan panas berikut dapat digunakan untuk menghitung perpindahan panas melalui radiasi:

$$Q_{rad} = e \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4 \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

Q_{rad} = Laju perpindahan panas radiasi (W)

e = koefisien emisivitas

A = Laju permukaan benda (m^2)

σ = Tetapan Stefan-boltzmann ($5,6,7 \times 10^{-8}$ Watt/ $m^2.K^4$)

T^4 = Suhu mutlak permukaan benda (K)

2.3.4 Tahanan Termal

Tahanan termal R , yaitu ketahanan suatu benda dari medium atau sistem tertentu terhadap aliran panas melalui batas-batasnya dan terdapat sifat termal medium seperti konduktifitas termal (P.N. Kupang, 2019).

$$R = \frac{L}{K} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana:

R = Tahanan termal per unit area ($m^2. K/W$)

L = Ketebalan material (m)

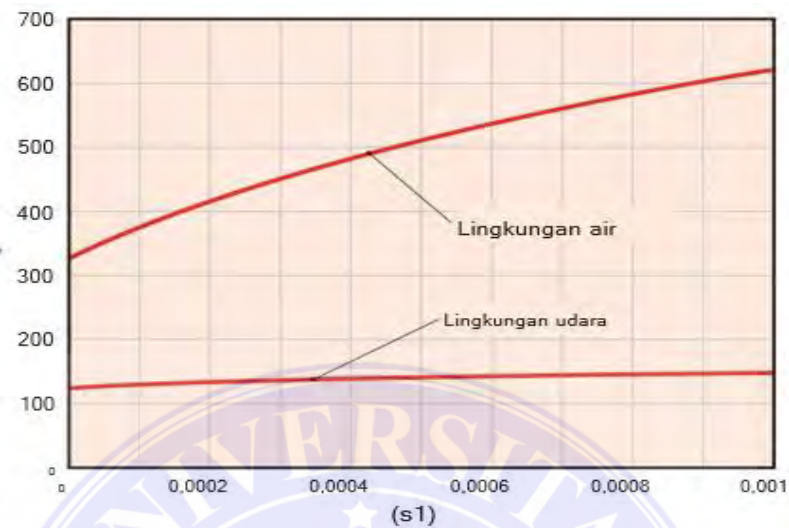
K = Konduktifitas material (W/Mk)

Mengukur konduktivitas termal sebenarnya dari jaringan hidup sangat menantang, pertama karena kebutuhan untuk membuatnya *invasive* pengukuran pada makhluk hidup, dan kedua karena sulit untuk secara eksperimental memisahkan efek konduksi panas dan perfusi. Lebih mudah untuk mengukur konduktivitas termal yang efektif yang akan menjelaskan kontribusi gabungan dari konduksi dan perfusi. Namun, nilai konduktivitas efektif ini tergantung pada laju perfusi, yang pada gilirannya bervariasi dengan lingkungan termal dan kondisi fisik spesimen.

Perhitungan dapat diulang untuk rentang nilai laju perfusi, dan ketergantungan laju kehilangan panas pada laju perfusi diilustrasikan di bawah ini.

Efeknya lebih kuat untuk kasus lingkungan air, karena suhu lebih rendah dan

karenanya efek perfusi oleh arteri yang hangat lebih terasa, dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.6. Konduksi satu dimensi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bengkel Bersama Motor, gg. Pinem, Mangga. Kec. Medan Tuntungan, Kota Medan, Sumatera Utara 20131.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung selama waktu yang telah ditentukan. Waktu kegiatan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1. Waktu Kegiatan Penelitian.

| No | Kegiatan | Waktu (Bulan) | | | | | | | |
|----|-----------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Mar | Apr | Mei | Jun | Jul | Agu | Sep | Okt |
| 1 | Studi Literatur | | | | | | | | |
| 2 | Penyusunan Proposal | | | | | | | | |
| 3 | Seminar Proposal | | | | | | | | |
| 5 | Pengujian Nilai Kalor | | | | | | | | |
| 6 | Pengumpulan Data | | | | | | | | |
| 7 | Analisa Data | | | | | | | | |
| 8 | Laporan Penulisan | | | | | | | | |
| 9 | Seminar Hasil | | | | | | | | |
| 10 | Perbaikan | | | | | | | | |
| 11 | Ujian Sidang | | | | | | | | |

3.2. Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut.

1. Multitester

Multitester adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui tegangan listrik, resistansi, dan arus listrik. Pada penelitian ini, multitester mengukur tegangan dan arus pada peltier dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1. Multitester.

Spesikasi:

Rentang pengukuran = 400m/4/40/400/600V.

Akurasi terbaik = $\pm(0.7\%+3)$

Resolusi = 0.1mV.

Impedansi Masukan = DCV: 10M~100M Ω , ACV 10M~11M Ω

2. Thermogun

Thermogun adalah salah satu jenis termometer inframerah untuk mengukur

temperatur suhu. Alat ini dipakai pada penelitian ini mengukur suhu pada sekitaran benda peltier teg dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2. *Thermo gun.*

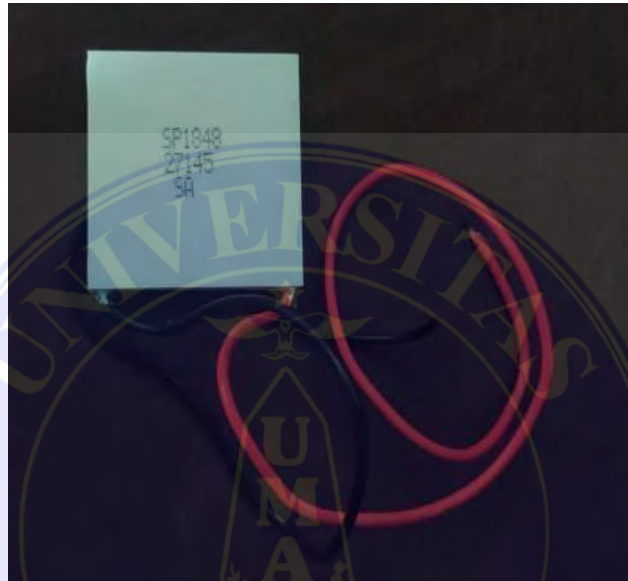
Spesifikasi:

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Jarak pengukuran | = $1-2 \times 10^{-3}$ m |
| Rentang pengukuran | = Dalam mode tubuh: 32 °C - 43 °C |
| Akurasi pengukuran | = $\pm 0,2$ °C |
| Resolusi | = 0,1 °C 0,1 ° |
| <i>Shutdown</i> otomatis | = 20 detik |
| Memori data | = 32 grup |
| Suhu pengoperasian | = 10 °C -40 °C |
| Satu daya | = DC 3.0V 2 baterai AAA |
| Unit tampilan | = °F/°C |
| Ukuran produk | = 1508343×10^{-3} m |

3.2.2 Bahan

1. Peltier TEG SP-1848

Peltier TEG adalah komponenn listrik sebagai pembangkit listrik. Pada penelitian ini, peneliti merancang pembangkit listrik menggunakan peltier sebanyak 6 buah dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3. Peltier TEG.

Dimensi:

$$\text{Panjang} = 40 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 40 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Tebal} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Spesifikasi:

Bahan material = Keramik

$$\Delta T_{\text{max}} = 62.0-70.6 \text{ }^{\circ}\text{C-dry N}_2$$

$$Q_{\text{max}} = 21.3-23.6 \text{ Watt}$$

$$I_{\text{max}} = 9.36-9.24 \text{ A}$$

$$V_{\text{max}} = 3.48-3.88 \text{ V}$$

$$\text{AC Resistance} = 323 \times 10^{-3} \text{ Ohm}$$

2. Tungku pembakaran sate



Gambar 3.4. Tungku sate.

Dimensi tungku:

| | |
|--------------------|-----------|
| Panjang Tungku | = 400 mm |
| Lebar Tungku | = 120 mm |
| Tinggi Tungku | = 120 mm |
| Tinggi Kaki Tungku | = 1000 mm |

3.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen.

3.3.1 Sistematika Penulisan

1. Observasi tempat penelitian guna untuk mendapatkan hasil yang diinginkan
2. Pengumpulan data-data setelah penelitian.
3. Melakukan pengamatan terhadap laju perpindahan panas pada termoelektrik generator.
4. Melakukan pengamatan dan perhitungan terhadap energi listrik yang telah dihasilkan selama penelitian.

5. Menarik kesimpulan dan saran.

3.3.2 Prosedur Penelitian

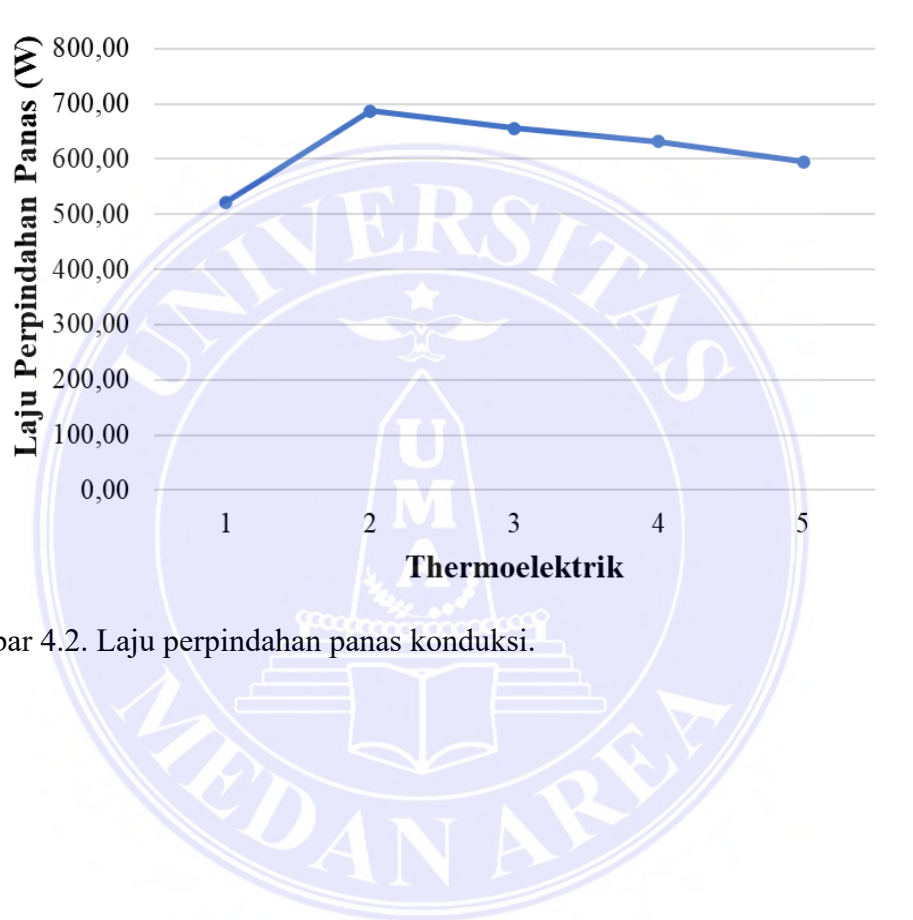
Prosedur pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap untuk mendapatkan data yang akurat dan logis. Adapun tahapan prosedur sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan telah dipersiapkan untuk melaksanakan percobaan dan pengambilan data.
2. Melakukan pengoperasian.
3. Menyusun tempat pembakaran tungku sate dan merangkai susunan seri pada komponen Peltier.
4. Meletakkan komponen yang sudah tersusun dengan tempat yang sudah disesuaikan.
5. Analisis data yaitu Pengambilan data dilakukan pada saat di mulai pembakaran arang. saat terjadi pembakaran maka timbul panas yang akan di serap oleh termoelektrik dan pada termoelektrik dapat mengkonversikan energi kalor menjadi energi listrik.

3.4 Diagram Alir Penelitian



digunakan sebanyak lima (5) pcs, dimana satu termoelektrik di uji sebanyak enam (6) kali pengujian. Laju perpindahan panas konduksi tertinggi berada pada termoelektrik 2 dengan perolehan nilai 687,37 W, sedangkan perpindahan panas terendah berada pada termoelektrik 1 dengan nilai 521,86 W, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.2. Laju perpindahan panas konduksi.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan data pengujian termoelektrik pada tungku pembakaran sate

maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian daya tertinggi berada pada termoelektrik 1 dengan perolehan daya sebesar 0,0011 W. Sedangkan daya terendah berada pada termoelektrik 2 dengan perolehan daya sebesar 0,0003 W.
2. Laju perpindahan panas konduksi tertinggi berada pada termoelektrik 2 dengan perolehan nilai 687,37 W, sedangkan perpindahan panas terendah berada pada termoelektrik 1 dengan nilai 521,86 W.

5.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran untuk melanjutkan penelitian:

1. Dalam penelitian ini perlu dilakukan pengujian termoelektrik dengan menggunakan peltier supaya panas yang mengalir dapat stabil atau dapat di dinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hasra Rafika, Rahmad iman mainil, and Azridjal Aziz. "Kaji Eksperimental Pembangkit Listrik Berbasis *Thermoelectric Generator* (Teg) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara," vol. 5, no. 1, pp. 7–11, 1848.
- R. Rifky, A. Fikri, and M. Mujirudin, "Konversi Energi Termal Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik," J. Kaji. Tek.

- Mesin, vol. 6, no. 1, pp. 60–65, 2021, doi: 10.52447/jktm.v6i1.4532.
- R., S. Anwar, and S. P. Sari, “Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 4, pp. 180–185, 2014, doi: 10.17529/jre.v10i4.1108.
- A. Wahid, “Analisis kapasitas dan kebutuhan daya listrik untuk menghemat penggunaan energi listrik di fakultas teknik universitas tanjungpura”.
- P. Perpindahan, P. Konduksi, P. Flammability, D. A. N. Matrial, P. Sebagai, and M. Pengujian, “Jus tekno”.
- S. Idawati Supu, Baso Usman, Selviani Basri, “Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas Pada Material Yang Berbeda ” vol. 07, no. 1, pp. 62–73, 2016.
- Z. Ma, M. Arsana, F. Malik, W. Priyono, and A. Altway, “Dan Radiasi Pada Penukar Panas Jenis Pipa Dan Kawat *Analysis Of Heat Transfer By Free Convection And Radiation In Type Heat Exchanger Pipe And Wire*,” vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2012.
- P. N. Kupang, “dT,” vol. 2, no. 1, pp. 20–26, 2019.
- Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt. 2011. *Fundamentals Of Heat An Mass Transfer Sixth Edition*. John Wiley & Sons.
- Chamdan nor, Dyah ayu pratiwi,dkk. 2015. “Inovasi pembangkit listrik tenaga panas matahari guna menurunkan biaya operasional PT Berkah Vannamel Bantul”. *Jurnal penelitian*. Vol. X: Hal. 26-33
- Haryadi, Mahmudi Ali. 2012. *Buku bahan ajar perpindahan panas*. Bandung: Politeknik Negri Bandung Imam Fatoni.2015. “Ilmu alamiah dasar energi terbarukan”. *Makalah Energi Terbarukan*, Malang : Universitas Muhamadiyah Malang.
- Jojo sumarjo,dkk.2017. “Pemanfaatan sumber panas pada kompor menggunakan 10 Termoelektrik Generator dirangkai secara seri untuk aplikasi lampu penerangan”. *Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal)*. Vol 11(2): Hal.124-127.
- Klara,dkk.2016. “Pemanfaatan panas gas buang mesin diesel sebagai energi listrik”. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*. Vol 14 (1): Hal. 113-128

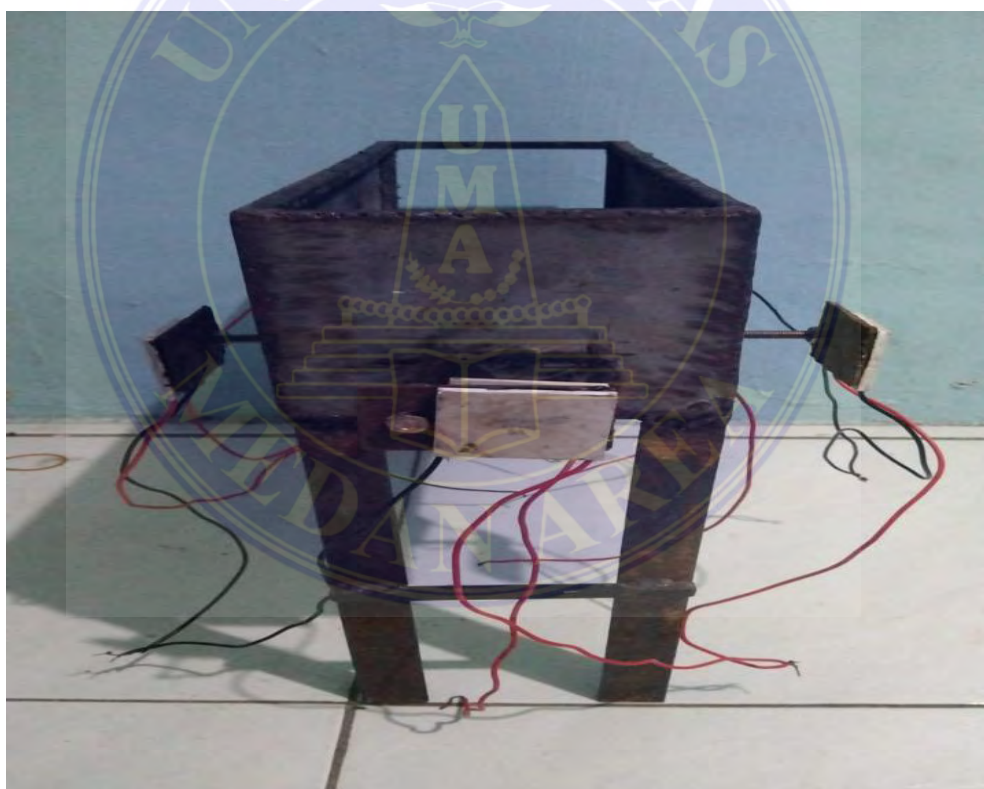
- Nurulianthy Annisa. 2012. Pengembangan *hybrid solarcell* dengan termoelektrik generator. S1 Teknik Mesin, Universitas Indonesia.
- Purnomo hadi,dkk.2014. *Outlook energi Indonesia 2014*. Jakarta Selatan.
- M. Liao, Z. He, C. Jiang, Y. Li, F. Qi et al., “A threedimensional model for thermoelectric generator and the influence of peltier effect on the performance and heat transfer,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 133, pp. 493–500, 2018.
- M. I. Sutjahja, “Penelitian bahan termoelektrik bagi aplikasi konversi energi dimasa datang,” *Jurnal Maerial dan Energi Indonesia*, vol. 1, no. 1, 2010.
- S. Anwar, S. P. Sari et al., “Generator mini dengan prinsip termoelektrik dari uap panas kondensor pada sistem pendingin,” *Jurnal Rekayasa Elekrika*, vol. 10, no. 4, pp. 180–185, 2013.
- S. A. Sasmita, M. T. Ramadhan, M. I. Kamal, dan Y. Dewanto, “Alternatif pembangkit energi listrik menggunakan prinsip termoelektrik generator,” *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 21, no. 1, pp. 57–61, 2019.
- Y. Ohnuma, M. Matsuo, dan S. Maekawa, “Theory of the spin peltier effect,” *Physical Review B*, vol. 96, no. 13, p. 134412, 2017.

LAMPIRAN

1. Dokumentasi Tungku Pembakaran Sate



Gambar 1. Tampak depan tungku sate.



Gambar 2. Tampak samping tungku sate.



Gambar 3. Pengujian suhu plat sebelah kanan.



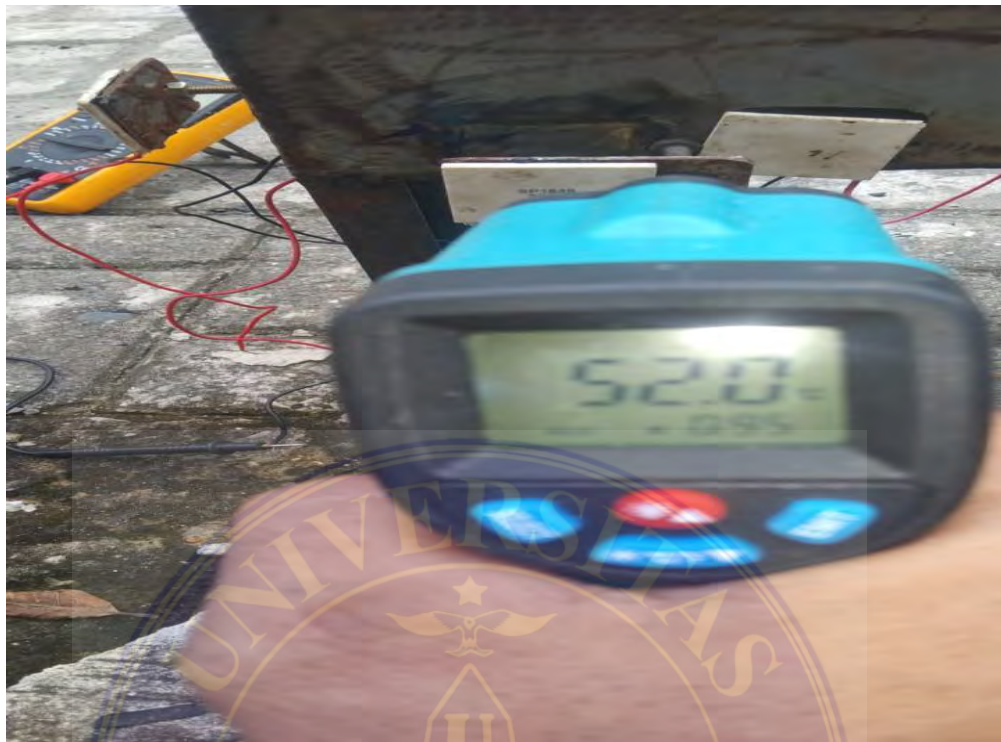
Gambar 4. Pengujian suhu plat sebelah kiri.



Gambar 5. Dokumentasi pengujian tungku sate.



Gambar 6. Dokumentasi pengujian pada tungku sate.



Gambar 7. Pengujian suhu termoelektrik.



Gambar 8. Dokumentasi pengujian pada tungku sate.



Gambar 9. Dokumentasi pembakaran arang pada tungku.



Gambar 10. Dokumentasi pengujian pada tungku sate.

