

TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN PANAS EXHAUST SEPEDA MOTOR SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN THERMOELECTRIC

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

YUWANDA EFENDI

1407220016



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2018

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

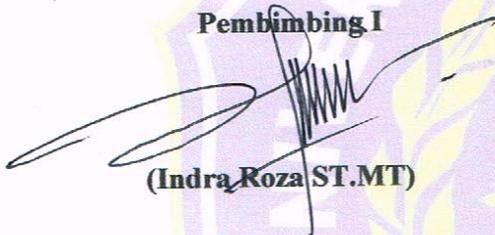
**PEMANFAATAN PANAS EXHAUST SEPEDA MOTOR SEBAGAI
SUMBER ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN THERMOELECTRIC**

*Diajukan Guna Melengkapi Tugas – tugas dan Sebagai Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Telah Diuji dan Disidangkan Pada Tanggal :
28 September 2018**

**Oleh :
Yuwanda Efendi
1407220016**

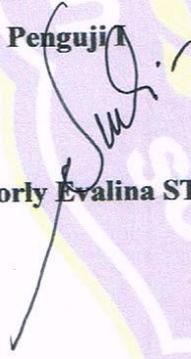
Pembimbing I


(Indra Roza ST.MT)

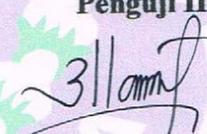
Pembimbing II


(Faisal Irsan Pasaribu ST.MT)

Penguji I


(Noorly Evalina ST.MT)

Penguji II


(Dr. M Fitra Zambak ST.M.Sc)

**Diketahui dan Disahkan
Ketua Jurusan Teknik Elektro**


(Faisal Irsan Pasaribu ST.MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Yuwanda Efendi
NPM : 1407220016
Tempat / Tgl Lahir : Medan / 20 Januari 1995
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro



Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir (skripsi) saya ini yang berjudul :

“ Pemanfaatan Panas Exhaust Sepeda Motor Sebagai Sumber Energi Listrik Menggunakan Thermoelectric ”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 6 Oktober 2018

Saya yang menyatakan



Yuwanda Efendi
1407220016

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yan mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **“Pemanfaatan Panas *Exhaust* Sepeda Motor Sebagai Sumber Energi Listrik Menggunakan *Thermoelectric*”**.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Ayahanda (Refnalis) dan Ibunda (Erlina Surya) tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik, dan membimbing

dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.

3. Bapak Dr. Agussani, MAP. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Munawar Alfansury S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ade Faisal M.Sc, P.hd selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Khairul Umurani S.T, M.T selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Partaonan Harahap, S.T, M.T. selaku Sekretaris Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Bapak Indra Roza ST, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dikampus yang telah memberi ide-ide dan masukkan dalam menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini.
10. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing II dikampus yang selalu sabar membimbing dan memberikan pengarahan penulis dalam penelitian serta penulisan laporan tugas akhir ini.
11. Segenap Bapak & Ibu dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Segenap kepada teman seperjuangan Fakultas Teknik yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu serta Keluarga Besar Teknik Elektro 2014

yang selalu memberikan semangat dan suasana kekeluargaan yang luar biasa. Salam Kompak.

13. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 6 Oktober 2018
Penulis

Yuwanda Efendi
1407220016

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| KATA PENGANTAR..... | i |
| DAFTAR ISI..... | iv |
| DAFTAR GAMBAR..... | vii |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GRAFIK | ix |
| ABSTRAK | x |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.6 Metode Penelitian..... | 4 |
| 1.7 Sistematika Penulisan..... | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan | 6 |
| 2.2 Konsep <i>Thermoelectric</i> | 9 |
| 2.3.1 <i>Thermoelectric Cooler</i> | 10 |
| 2.3.2 <i>Thermoelectric Generator</i> | 11 |

| | |
|--|----|
| 2.3.3 Konstruksi..... | 13 |
| 2.3.4 Spesifikasi..... | 14 |
| 2.4 Efek Seebeck, Peltier dan Thompson..... | 15 |
| 2.4.1 Efek <i>Seebeck</i> | 15 |
| 2.4.2 Efek Peltier..... | 17 |
| 2.4.3 Efek Thomson..... | 18 |
| 2.5 Bahan Semikonduktor..... | 19 |
| 2.6 Sepeda Motor..... | 21 |
| 2.7 <i>Heatsink</i> dan <i>Coldsink</i> | 23 |
| 2.7.1 <i>Heatsink</i> | 23 |
| 2.7.2 <i>Coldsink</i> | 24 |
| 2.8 Panas..... | 25 |
| 2.8.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi..... | 26 |
| 2.8.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi..... | 27 |
| 2.8.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi..... | 28 |
| 2.8.4 Kalor Jenis..... | 29 |
| 2.9 Rangkaian Listrik..... | 29 |
| 2.9.1 Rangkaian Seri..... | 30 |
| 2.9.2 Rangkaian Paralel..... | 31 |
| 2.9.3 Tenaga Listrik..... | 32 |
| 2.10 <i>Boost Converter/DC to DC Converter</i> | 33 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 35 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan..... | 35 |
| 3.2 Bahan dan Alat | 35 |
| 3.3 Proses Pembuatan Alat | 36 |
| 3.4 Gambar Rangkaian Keseluruhan..... | 38 |
| 3.5 Skematik Rangkaian..... | 39 |
| 3.6 Proses Pengambilan Data | 40 |
| 3.7 Proses Uji Kinerja | 40 |
| 3.8 Diagram Blok | 41 |
| 3.8.1 Cara Kerja <i>Thermoelectric</i> | 42 |
| 3.9 Diagram Alir..... | 43 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 44 |
| 4.1 Hasil Pengujian | 44 |
| 4.2 Pengujian Saat Siang Hari..... | 44 |
| 4.3 Pengujian Saat Malam Hari..... | 48 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 54 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 55 |
| 5.2 Saran | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA | 56 |
| LAMPIRAN..... | 58 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Pergerakan Elektron Dari Bahan Tipe-p Ke Tipe -n..... | 10 |
| Gambar 2.2 Skema Elemen Peltier | 12 |
| Gambar 2.3 Penampang <i>Thermoelectric</i> | 13 |
| Gambar 2.4 Bentuk <i>Thermoelectric</i> yang ada dipasaran | 14 |
| Gambar 2.5 Arti Tulisan Pada <i>Thermoelectric</i> | 14 |
| Gambar 2.6 Skema efek seebeck pada suatu bahan..... | 16 |
| Gambar 2.7 Skema efek peltier pada suatu bahan | 18 |
| Gambar 2.8 Pita Konduksi dan Pita Valensi Pada elektron | 19 |
| Gambar 2.9 <i>Heatsink</i> | 24 |
| Gambar 2.10 <i>Coldsink</i> | 25 |
| Gambar 2.11 Perpindahan Panas Secara Konduksi | 27 |
| Gambar 2.12 Perpindahan Panas Secara Konveksi..... | 28 |
| Gambar 2.13 Perpindahan Panas Secara Radiasi..... | 28 |
| Gambar 2.14 Rangkaian Listrik | 30 |
| Gambar 2.15 Rangkaian Seri | 31 |
| Gambar 2.16 Rangkaian Paralel..... | 32 |
| Gambar 2.17 Modul Dc to DC <i>Boost Converter</i> | 33 |
| Gambar 3.1 Bahan Penelitian..... | 36 |
| Gambar 3.2 Alat Uji saat dipasang pada <i>Exhaust</i> Sepeda Motor | 37 |
| Gambar 3.3 Rangkaian Keseluruhan..... | 38 |
| Gambar 3.4 Skematik Rangkaian..... | 39 |
| Gambar 3.5 Diagram Blok | 41 |
| Gambar 3.6 Diagram Alir | 43 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4.1 Data Output Rangkaian Seri Saat Siang Hari | 44 |
| Tabel 4.2 Data Output Rangkaian Paralel Saat Siang Hari..... | 47 |
| Tabel 4.3 Data Output Rangkaian Seri Saat Malam Hari | 48 |
| Tabel 4.4 Data Output Rangkaian Paralel Saat Malam Hari | 49 |
| Tabel 4.5 Data Output Tegangan dan Arus Rata-Rata..... | 51 |
| Tabel 4.6 Koefisien Tegangan Rata-Rata | 54 |

DAFTAR GRAFIK

| | |
|--|----|
| Grafik 4.1 Temperatur Terhadap Output R. Seri Saat Siang Hari | 46 |
| Grafik 4.2 Temperatur Terhadap Output R. Paralel Saat Siang Hari..... | 47 |
| Grafik 4.3 Temperatur Terhadap Output R. Seri Saat Malam Hari | 48 |
| Grafik 4.4 Temperatur Terhadap Output R. Paralel Saat Malam Hari | 49 |
| Grafik 4.5 Tegangan dan Arus Rata-Rata Saat Siang dan Malam Hari..... | 52 |
| Grafik 4.6 Koefisien Tegangan Rata-Rata | 54 |

ABSTRAK

Penelitian ini berdasarkan pengamatan pada umumnya sekitar 30% energi utama pada sepeda motor terbuang sebagai limbah panas melalui gas buang (exhaust), yang mana energi panas tersebut dapat dimanfaatkan untuk diubah menjadi sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric*, alat ini dapat mengkonversi energi panas yang terbuang menjadi sumber energi listrik yang dapat digunakan, disini juga peneliti menganalisa rangkaian yang paling optimal dalam menghasilkan output tegangan, arus listrik dan daya listrik, dan juga mempelajari perubahan temperatur suhu panas terhadap output yang dihasilkan. Variable bebas yang divariasikan yaitu jenis rangkaian, waktu pengambilan data pada siang dan malam juga nilai koefisien dari *thermoelectric*. Dari semua data dan juga pengamatan yang telah dilakukan, bahwa temperatur menjadi faktor yang sangat berpengaruh dalam menghasilkan output tegangan dan arus listrik, semakin besar gradien suhu (ΔT) yang dihasilkan, maka akan semakin besar nilai output pada *thermoelectric*. Pada rangkaian paralel daya yang dihasilkan lebih besar yaitu 1,924 Watt namun tegangan yang dihasilkan lebih kecil yaitu 1,743 Volt, sedangkan pada rangkaian seri daya listrik yang dihasilkan sebesar 1,351 Watt namun nilai tegangannya lebih besar yaitu 6,69 Volt, dan nilai koefisien tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 0,19977 V/K. Temperatur exhaust 90°C dengan enam peltier terangkai paralel direkomendasikan pada sepeda motor untuk mendapatkan daya listrik paling optimal.

Kata kunci : *Thermoelectric*, efek *seebeck*, temperatur, jenis rangkaian

ABSTRACT

This study is based on observations in general that about 30% of the main energy of a motorcycle is wasted as waste heat through exhaust gas, which can be used to convert heat energy into a source of electrical energy using a thermoelectric, this device can convert heat energy wasted into Electrical energy sources that can be used, here also researchers analyze the most optimal circuit in generating output voltage, electric current and electrical power, and also study changes in the temperature of the temperature to the output produced. The free variable that is varied is the type of circuit, the time of data retrieval during the day and night also the coefficient value of the thermoelectric. Of all the data and also observations that have been made, that temperature is a very influential factor in generating output voltage and electric current, the greater the temperature gradient (ΔT) produced, the greater the output value on the thermoelectric. In the parallel circuit the power produced is greater that is 1,924 Watts but the resulting voltage is smaller at 1.743 Volts, while in the series of electrical power produced is 1,351 Watt but the voltage value is greater that is 6.69 Volts, and the coefficient value the highest in this study is 0.19977 V / K. Exhaust temperature of 90 °C with six parallel coupled peltiers is recommended for motorbikes to get the most optimal electrical power.

Keywords: *Thermoelectric, seebeck effect, temperature, type of circuit*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dunia sekarang ini khususnya di Indonesia penggunaan bahan bakar pada kendaraan bermotor tergolong cukup tinggi. Dari data AISI, konsumsi BBM non subsidi tahun 2010 menunjukkan bahwa sepeda motor mengkonsumsi BBM bersubsidi terbesar kedua (40%) setelah mobil pribadi (53%) yaitu 10,04 juta kiloliter. Namun dibalik itu semua sebenarnya ada potensi pemanfaatan limbah energi dari banyaknya penggunaan sepeda motor tersebut. Mesin spark ignition berbahan bakar bensin, sekitar 30% energi utama terbuang sebagai limbah panas melalui gas buang. Jika sekitar 6% dari panas gas buang ini dikonversi menjadi daya listrik, kurang lebih sama besar dengan *driving energy* yang digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar sekitar 10% [1] .

Penggunaan sepeda motor di Indonesia sudah menjadi hal yang umum. Hampir setiap rumah di Indonesia mempunyai sepeda motor, bahkan ada beberapa rumah yang memiliki lebih dari satu sepeda motor, dan setiap hari juga mereka menggunakannya untuk keperluan sehari hari, baik untuk bekerja, berpergian atau pun hanya sekedar jalan-jalan saja. Melihat kondisi ini, potensi yang bisa dilakukan dengan banyaknya orang yang memakai sepeda motor, yaitu antara lain pemanfaatan energi panas dari *exhaust* sepeda motor tersebut bisa diubah menjadi sumber energi listrik.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi panas menjadi energi listrik adalah teknologi *thermoelectric generator* (TEG)

yang sumber energinya dapat menggunakan sisa energi panas merupakan salah satu teknologi hijau yang dibutuhkan sebagai alternatif sumber energi masa depan [2]. Teknologi ini juga 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 untuk skala kecil dan lokasi terpencil, ramah lingkungan, dan sumber energi yang fleksibel. Kelebihan-kelebihan tersebut menyebabkan studi mengenai aplikasi *generator thermoelectric* banyak dilakukan [3].

Thermoelectric generator menggunakan sebuah elemen yang disebut *peltier*. Elemen *peltier* pada awalnya banyak digunakan sebagai pendingin CPU komputer maupun sebagai pendingin pada *minicoolbox*. Namun seiring perkembangannya yang berdasar pada hasil penelitian yang dilakukan *Thomas Johann Seebeck* (bahwa sebuah jarum kompas akan dibelokkan ketika sebuah rangkaian tertutup yang tersusun dari dua buah logam yang saling berhubungan di dua tempat dengan perbedaan temperatur antara sambungan yang memuat arus pada rangkaian, dan menghasilkan medan magnet) kini elemen *peltier* banyak digunakan sebagai pembangkit listrik. *Thermoelectric* terbuat dari *solid state material* (material zat padat) yang dapat mengkonversi energi dari perbedaan temperatur ke beda potensial (efek *seebeck*), atau dari arus listrik menjadi perbedaan temperatur (efek *peltier*). Berdasarkan hal diatas, maka peneliti akan menggunakan *thermoelectric* ini untuk mengubah (mengkonversi) energi panas

yang terbuang pada sepeda motor tadi, menjadi sumber energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memanfaatkan energi panas yang terbuang untuk dapat dikonversi menjadi sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric*
2. Bagaimana besar energi listrik yang dihasilkan saat rangkaian berbeda.
3. Bagaimana pengaruh suhu terhadap energi listrik yang dihasilkan.
4. Bagaimana besar koefisien dari *thermoelectric*.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Memanfaatkan energi panas yang terbuang untuk dapat dikonversi menjadi sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric*
2. Mengetahui besar energi yang dihasilkan saat rangkaian berbeda.
3. Mengetahui pengaruh suhu terhadap energi listrik yang dihasilkan
4. Menganalisa besar koefisien dari *thermoelectric*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan pengetahuan tentang energi alternatif yang ramah lingkungan dan mudah digunakan.
2. Meningkatkan efisiensi bahan bakar pada sepeda motor dengan memanfaatkan energi panas yang terbuang.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan peltier jenis *thermoelectric* generator TEC-12706 yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik.
2. Penelitian ini menggunakan 6 buah elemen peltier untuk membangkitkan tegangan listrik yang dihubungkan secara seri dan paralel.
3. Penelitian ini menggunakan energi panas yang dihasilkan dari *exhaust* sepeda motor.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penulisan skripsi, menggunakan beberapa metode untuk mengumpulkan data-data yang akan diperlukan untuk menyelesaikan skripsi ini.

1. Metode Studi Pustaka

Penulis melakukan studi pustaka untuk memperoleh data-data yang berhubungan dengan skripsi dari berbagai sumber bacaan seperti: Jurnal, dan website yang berkaitan dengan judul yang diangkat sebagai referensi.

2. Metode Eksperimen

Yaitu membuat alat dan bahan secara langsung dan menguji apakah alat dan bahan tersebut bekerja sesuai dengan keinginan.

3. Metode Pengujian Sistem

Yaitu melakukan pengujian alat dan bahan yang bertujuan untuk mengetahui apakah kinerja alat yang dibuat sesuai dengan apa yang diharapkan atau belum.

1.7 Sistematika Penulisan

Skripsi ini tersusun atas beberapa bab pembahasan secara garis besar tentang, *thermoelectric generator*, suhu, konversi energi

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan, batasan masalah, tujuan pembahasan, metodologi pembahasan, sistematika penulisan dan relevansi dari penulisan tugas akhir ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menguraikan teori tentang *thermoelectric generator* dan komponen pendukung lainnya.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menerangkan tentang lokasi penelitian, diagram alir/flowchart serta jadwal kegiatan dan hal-hal lain yang berhubungan dengan proses perancangan.

BAB IV : ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan tentang hasil pengujian, pembahasan hasil pengujian dan menganalisa hasil dari alat yang sedang dirancang.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian tentang pemanfaatan energi panas *exhaust* sepeda motor sebagai sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Berikut ini beberapa penelitian yang dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu untuk mendukung penelitian penulis dalam melakukan pemanfaatan panas *exhaust* sepeda motor sebagai sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric* antara lain :

Produsen modul *thermoelectric* pada awalnya lebih cenderung hanya memproduksi TEC (*Thermoelectric Cooler*) karena aplikasi nyata di kehidupan masyarakat umum sudah banyak. Misalnya aplikasi TEC untuk dispenser dan mesin *refrigerator*. Namun mengingat potensi pembangkitan alternatif energi yang bisa dikembangkan, beberapa produsen kemudian juga memproduksi TEG (*Thermoelectric Generator*) sekaligus melakukan penelitian aplikasinya. Salah satunya adalah Hi-Z Technology Inc., perusahaan produsen TEG asal Amerika, telah memelopori penelitian aplikasi TEG di kendaraan bermotor. Sejak tahun 1992 perusahaan ini mulai merancang dan mengembangkan TEG yang diaplikasikan pada truk bermesin diesel. Mesin 14 L Cummin NTC 350 dipilih untuk pengujian rancangan 1 kW TEG menggunakan salah satu produknya, HZ-13 yang berbasis material Bi₂Te₃. Jumlah modul yang digunakan 72 buah, yang dibagi dalam 8 lajur dimana setiap lajur ada 9 modul. *Heat exchanger* sisi panas menggunakan baja karbon yang berhubungan langsung dengan gas buang, sedangkan *heat exchanger* sisi dingin menggunakan aluminium dengan air sebagai fluida pendinginnya. Meskipun hasil yang diperoleh kurang dari separuh

rancangannya namun generator daya tinggi untuk menghasilkan daya listrik pada mesin diesel sangat masuk akal untuk diwujudkan. Kelanjutan penelitian perusahaan tersebut dilakukan dengan menyempurnakan berbagai hal, salah satunya penggantian modul HZ-13 dengan modul yang telah mengalami perbaikan yaitu HZ-14. Pengujian masih menggunakan mesin 14 L *Cummin* 350, namun sudah menggunakan beban TEG yang berupa *electronic loading device* dan enam bola lampu mobil. Hasilnya menunjukkan bahwa daya listrik yang dibangkitkan bisa lebih dari 900 Watt.

Penelitian yang lain masih dilakukan Hi-Z Technology Inc. tetapi sudah berkolaborasi dengan beberapa pihak, yaitu Universitas Clarkson, General Motor, dan Delphi Corporation. Kolaborasi tersebut merancang *Automobile Exhaust Thermoelectric Generator* (AETEG) yang berisikan modul termoelektrik HZ-20 bermaterial Bi_2Te_3 sejumlah 16 dihubung seri. Pendingin mesin juga digunakan sebagai pendingin AETEG sedangkan sisi panasnya menggunakan *compact heat exchanger* bermaterial baja karbon AISI 1018. Dimensi total AETEG ini 330 x 273 x 216 mm dengan berat 39,1 kg, dipasangkan pada pipa gas buang *pick up* General Motors 1999 GMC Sierra berbahan bakar bensin. Pengujian jalan dilakukan dengan kecepatan 48,28 Km/jam, 80,47 Km/jam dan 112, 65 Km/jam diperoleh daya keluaran terbesar pada kecepatan 112, 65 Km/jam yaitu berkisar 255 W.

Pengujian dengan menggunakan mesin jenis lain dilakukan oleh Hsu et.al. (2009), dengan menempatkan delapan modul komersial *thermoelectric material* Bi_2Te_3 di tengah tengah pipa gas buang Chrysler Neon 2000 cc. Kontruksi TEG menggunakan aluminium *heat sink* 13 fin sebagai *heat exchanger* sisi panas di

lalu gas buang, sedangkan di sisi dinginnya menggunakan *copper heat sink* 44 fin. Hasil pengukuran daya keluaran sistem ini adalah 44,3 W pada beda temperatur 88,3 K (rata-rata sisi temperatur rendahnya 343,7 K). Daya keluaran ini didapatkan pada putaran uji mesin tertinggi yaitu di 3500 rpm. Aplikasi TEG di mobil ukuran kecil dengan memanfaatkan panas gas buang Toyota Starlet 1300 cc diteliti oleh Hatziktaniotis, et.al.(2008). TEG yang dipakai adalah modul TEG Melcor HT9-3-25 bermaterial Bi_2Te_3 . Semi silindris aluminium digunakan sebagai pemanas dan dipasangkan langsung di pipa gas buang. Udara lingkungan sebagai pendingin dengan menggunakan *aluminium heat sink* 156 sirip berukuran 60mm x 68 mm. Pada kondisi suhu sisi panas berkisar 225 °C dan temperatur sisi rendah tidak lebih dari 80 °C, dan variasi kecepatan kendaraan 70 sampai 130 km/jam didapatkan tegangan tanpa beban 0,5 V sampai 1,6 V dan daya listrik maksimal yang dibangkitkan kurang lebih 1 W. Dengan mengasumsikan seluruh bagian dari pipa gas buang ini dipasangi TEG maka daya listrik total TEG yang dapat dibangkitkan sebesar 30 W atau 7,1 % daya nominal alternatornya.

BMW group di tahun 2009 telah mengimplementasikan TEG bermaterial Bi_2Te_3 pada BMW 535i dengan hasil daya maksimal yang bisa dibangkitkan 300 W. Dalam roadmap BMW group sampai tahun 2018, target daya listrik dari aplikasi teknologi ini 500 W dengan material TEG berbasis PbTe. Selanjutnya mulai tahun 2022 material TEG bebas dari lead dengan daya listrik yang bisa dibangkitkan 1000 W.

Suhu gas buang sepeda motor lebih rendah dibandingkan kendaraan roda empat dan lebih, untuk itu diawal eksperimen aplikasi teknologi *thermoelectric* pada sepeda motor, modul *thermoelectric cooler* (TEC) digunakan untuk

menggantikan peran TEG karena pertimbangan harga yang lebih murah. Namun TEC ini tidak bisa digunakan untuk aplikasi pemanfaatan panas buang sepeda motor. Kabel keluarannya selalu putus karena sambungan solder tidak mampu menahan panas tinggi. Pada penelitian berikutnya dengan menggunakan sepeda motor Suzuki Smash 110 cc, dan modul TEG bermaterial Bi_2Te_3 berjumlah 3 yang dipasang pada exhaust pipe berhasil membangkitkan tegangan sambungan terbuka tanpa beban sebesar 4,8 V. Penelitian ini kemudian diperbaiki dengan melakukan pengujian sepeda motor yang dijalankan, meskipun pada kecepatan yang rendah. Penempatan modul TEG tidak hanya pada sepeda motor Suzuki Smash 110 cc dan Suzuki FXR 150 cc, masih hanya menggunakan 3 modul TEG. Beban listrik sudah digunakan dengan memakai lampu LED 19 pcs, 1,4 Ohm. Hasilnya untuk sepeda motor 110 cc bisa dibangkitkan daya listrik sebesar 0,57 Watt (pada 30 Km/jam) dan untuk sepeda motor 150 cc bisa dibangkitkan daya listrik sebesar 1,2 Watt pada kecepatan 30 Km/jam.

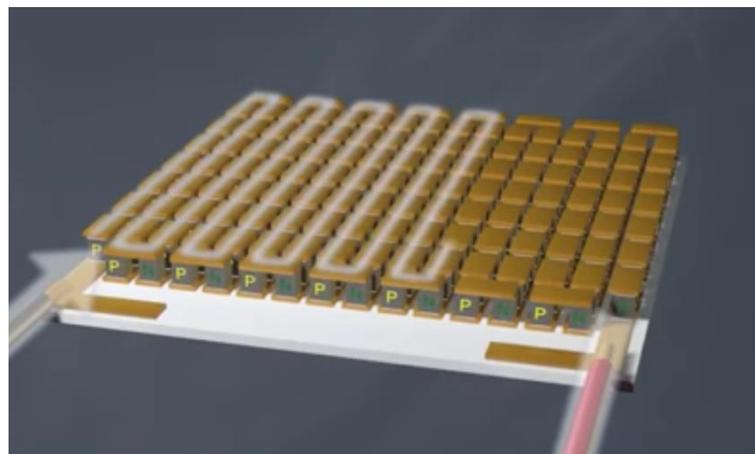
2.2 Konsep *Thermoelectric*

Modul termoelektrik merupakan sebuah susunan material *thermoelectric* yang dapat mengkonversi energi panas yang melewati modul tersebut menjadi energi listrik[4]. Modul *thermoelectric* yaitu alat yang mengubah energi panas dari gradien temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi gradien temperatur. Banyak pembahasan biasanya berkisar figure-of-merit atau ZT dari bahan *thermoelectric* dan dampak terhadap efisiensi perubahan panas ke listrik pada aplikasi *thermoelectric* generator atau *thermoelectric cooling*.

2.3.1 *Thermoelectric Cooler*

Perangkat *thermoelectric cooling* didasarkan pada efek Peltier. Jika arus listrik melewati rangkaian dari dua konduktor yang tidak sama, di situ akan terjadi kenaikan atau penurunan temperatur di persambungan bergantung dari arah aliran arus listrik. Ditemukan oleh Jean Peltier pada tahun 1834 dan kemudian diperluas oleh Emil Lenz pada tahun 1838. Lenz menunjukkan bahwa air dapat membeku ketika diletakkan pada persambungan bismuth–antimony dengan melewatkan arus listrik melalui persambungan tersebut. Dia juga mengamati bahwa jika arus listrik dibalik, es dapat meleleh. Lenz menyimpulkan bahwa arah dari aliran arus listrik menentukan apakah panas diserap atau dihasilkan pada persambungan

Ketika masukan listrik diterapkan pada termokopel, elektron bergerak dari bahan tipe-p ke bahan tipe-n menyerap energi panas pada sambungan dingin. Elektron–elektron membuang kelebihan energi pada sambungan panas karena elektron mengalir dari tipe-n kembali ke bahan tipe-p melalui konektor listrik. Membuang panas dari sisi panas akan menurunkan temperatur pada sisi dingin dengan cepat, besarnya penurunan bergantung dari arus listrik yang diberikan



Gambar 2.1 Pergerakan Elektron Dari Bahan Tipe-p Ke Tipe -n

2.3.2 Thermoelectric Generator

Thermoelectric generator diawali dari teori fisika Jerman bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1826, bahwa dua buah bahan semikonduktor yang berbeda jenis bila masing-masing permukaannya memiliki beda (gradien) temperatur maka akan menghasilkan tegangan[5]. *Thermoelectric* generator didasarkan pada efek *Seebeck*. Jika panas diterapkan pada rangkaian di persambungan dari dua konduktor yang berbeda, arus listrik akan dihasilkan. Ini adalah perangkat solid state dan tidak seperti dinamo yang mempunyai bagian bergerak sehingga tidak menimbulkan suara saat bekerja. Efek ini ditemukan pada tahun 1826. Thomas Johann Seebeck mengamati bahwa besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan perbedaan temperatur dan bergantung pada tipe bahan konduktor, tetapi tidak terpengaruh persebaran temperatur sepanjang konduktor. Seebeck menguji berbagai bahan, termasuk semikonduktor yang ditemukan secara alami yaitu ZnSb dan PbS. Koefisien *seebeck* (sering kali diukur dalam $\mu\text{V/K}$) didefinisikan sebagai tegangan bukaan rangkaian yang dihasilkan antara dua titik pada konduktor ketika perbedaan temperatur seragam sebesar 1 K diterapkan antara dua titik tersebut.

Thermoelectric generator paling sederhana terdiri dari termokopel yang terdiri dari tipe-n (bahan dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (bahan dengan kekurangan elektron) elemen yang terhubung listrik secara seri dan panas secara paralel. Panas merupakan masukan dari satu sisi dan ditolak dari sisi yang lain, menghasilkan tegangan di seluruh pasangan *thermoelectric*. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur

Elemen peltier merupakan sebuah perangkat yang awalnya menggunakan implementasi prinsip peltier, dimana bila arus listrik dialirkan pada sambungan dua jenis logam maka akan menghasilkan perpindahan kalor.

Thermoelectric generator diawali dari teori fisikawan jerman bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1826, bahwa dua buah bahan semikonduktor yang berbeda jenis bila masing-masing permukaan memiliki beda (gradien) temperatur maka akan menghasilkan tegangan. Kondisi ini selanjutnya dikenal sebagai efek *Seebeck* yang dinotasikan dengan formula :

$$S = \frac{V}{\Delta T} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana S adalah koefisien *Seebeck* (V/K), V sebagai tegangan yang dihasilkan (volt) dan ΔT adalah beda temperatur sisi *heat sink* panas dan *heat sink* dingin (kelvin). Besarnya koefisien ini akan mempresentasikan kinerja *thermoelectric* generator.



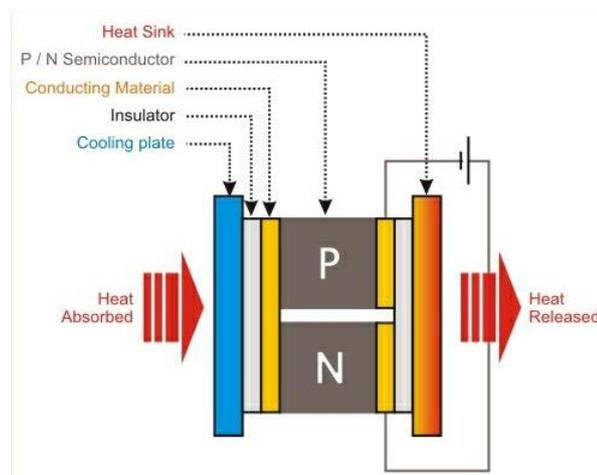
Gambar 2.2 Skema Elemen Peltier

Pada gambar 2.2, terlihat elemen peltier terdiri dari kaki-kaki dengan dua jenis material semikonduktor yaitu tipe-n dan tipe-p. Elektron pada ujung sisi kaki yang dipanaskan memiliki energi kalor yang lebih tinggi bila dibandingkan

dengan ujung kaki yang dingin. Elektron yang dengan energi kalor yang lebih besar akan menyebar sampai ujung kaki-kaki yang lebih dingin. Pada tahap ini kenetralan atom tetap terjaga sehingga distribusi elektron membentuk muatan negatif pada ujung yang dingin (kelebihan muatan elektron) dan muatan positif pada ujung yang panas (kekosongan elektron pada atom) sehingga terbentuk tegangan listrik.

2.3.3 Konstruksi

Thermoelectric dibangun oleh dua buah semikonduktor yang berbeda, satu tipe N dan yang lainnya tipe P (mereka harus berbeda karena mereka harus memiliki kerapatan elektron yang berbeda dalam rangka untuk bekerja). Kedua semikonduktor diposisikan paralel secara termal dan ujungnya digabungkan dengan lempeng pendingin biasanya lempeng tembaga atau aluminium.



Gambar 2.3 Penampang *Thermoelectric*

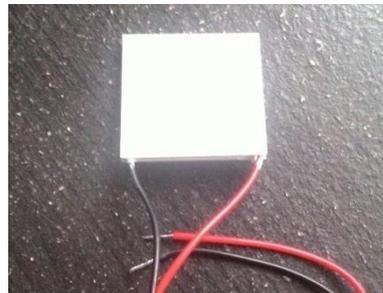
Ujung penghantar dari dua bahan yang berbeda dihubungkan ke sumber tegangan, dengan demikian arus listrik akan mengalir melalui dua buah semikonduktor yang terhubung secara seri (lihat gambar diatas). Aliran arus DC

yang melewati dua semikonduktor tersebut menciptakan perbedaan suhu. Sebagai akibat perbedaan suhu ini, Peltier pendingin menyebabkan panas yang diserap dari sekitar pelat pendingin akan pindah ke plat lain (heat sink).

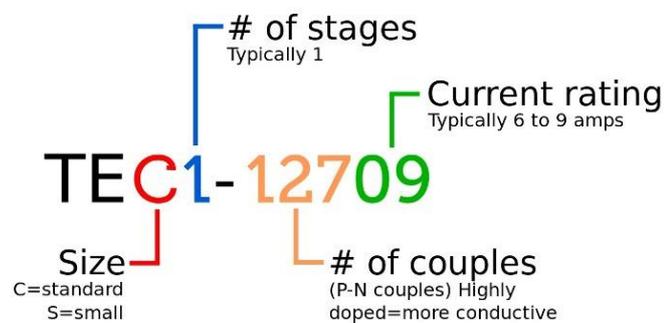
Dalam prakteknya banyak pasangan *thermoelectric* (pasangan) seperti dijelaskan diatas, yang terhubung paralel dan diapit dua buah pelat keramik dalam sebuah *thermoelectric* tunggal. Sedangkan besarnya perbedaan suhu panas dan dingin adalah sebanding dengan arus dan jumlah pasangan semikonduktor di unit.

2.3.4 Spesifikasi

Banyak macam *thermoelectric* yang ada dipasaran, namun yang masuk dan ada di Indonesia tidak begitu banyak. Salah satu model yang ada dipasaran seperti gambar berikut :



Gambar 2.4 Bentuk *Thermoelectric* yang ada dipasaran



Gambar 2.5 Arti Tulisan Pada *Thermoelectric*

Untuk lebih jelasnya dalam memahami atau membaca spesifikasi dari modul peltier dapat dilihat pada gambar. Modul peltier yang sering digunakan secara umum memiliki ukuran dimensi yang sama yaitu sekitar 4cm x 4cm, gambaran dari ukuran dimensi yang dimiliki modul peltier bisa dilihat pada gambar. Banyak jenis atau macam modul peltier yang ada dipasaran, namun yang masuk dan ada di Indonesia tidak begitu banyak. Setiap peralatan atau komponen tentunya punya datasheet atau spesifikasi. Tak terkecuali *thermoelectric* tersebut. Adapaun spesifikasinya seperti berikut :

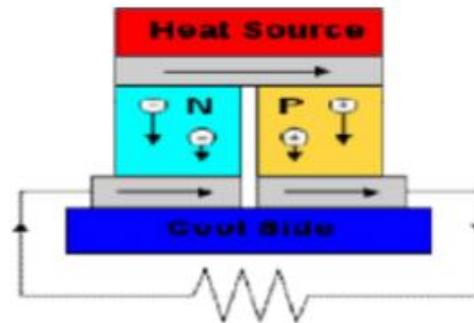
- Dimentions : 40 x 40 x 3.9mm
- I_{max} - 7A
- V_{max} - 15.4V
- Q_{cmax} - 62.2W
- 1.7 Ohm resistance
- Max Operating Temp: 180°C
- Min Operating Temp: - 50°C

2.4 Efek Seebeck, Peltier dan Thompson

2.4.1 Efek *Seebeck*

Efek *Seebeck* adalah perubahan secara langsung dari perbedaan temperatur ke listrik dan mengambil nama fisikawan Jerman–Estonia, Thomas Johann Seebeck, yang pada tahun 1821 menemukan bahwa jarum kompas akan dibelokkan oleh loop tertutup yang dibentuk oleh gabungan dua logam di dua tempat, dengan perbedaan temperatur antara persambungan. Ini disebabkan respon logam berbeda – beda terhadap perbedaan temperatur, menimbulkan loop arus dan medan magnet. Seebeck tidak menyadari ada arus listrik yang terlibat,

maka dia menyebut fenomena tersebut dengan efek *thermomagnetic*. Fisikawan Denmark, Hans Christian Orsted memperbaiki kesalahan dan menciptakan istilah *thermoelectric*. Tegangan yang dihasilkan oleh efek ini dalam orde $\mu\text{V}/\text{K}$. Satu contoh gabungan antara tembaga dan nikel, mempunyai koefisien Seebeck 41 $\mu\text{V}/\text{K}$ pada temperatur ruang.



Gambar 2.6 Skema efek seebek pada suatu bahan

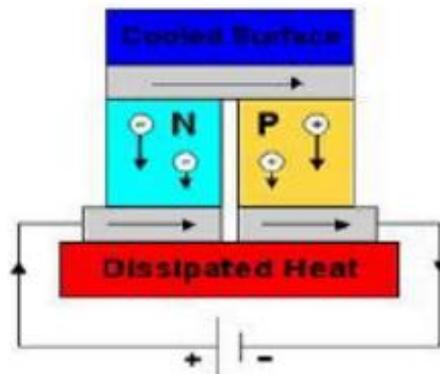
Perbedaan tegangan (V), dihasilkan di seluruh persambungan dari rangkaian terbuka yang dibuat dari sepasang logam berbeda, A dan B, yang dua persambungan terjadi perbedaan temperatur, adalah berbanding lurus dengan perbedaan temperatur antara persambungan panas dan dingin, $T_h - T_c$. Tegangan atau arus yang dihasilkan di seluruh persambungan dari dua logam yang berbeda disebabkan oleh difusi elektron dari daerah dengan kepadatan elektron yang tinggi ke daerah dengan kepadatan elektron rendah karena kepadatan elektron berbeda pada logam yang berbeda. Karena itu arus mengalir dalam arah yang berlawanan. Jika kedua persambungan dijaga pada temperatur yang sama, difusi elektron pada kedua persambungan juga sama. Oleh karena arus pada kedua persambungan adalah sama dan berlawanan arah sehingga jumlah arus adalah nol, dan jika kedua persambungan dijaga pada temperatur yang berbeda maka difusi pada kedua

persambungan juga berbeda sehingga arus dihasilkan. Oleh karena itu jumlah arus tidak nol. Hal ini dikenal sebagai fenomena *thermoelectric*.

2.4.2 Efek Peltier

Sedangkan Efek Peltier jika dua logam yang berbeda disambungkan pada arus listrik (DC), maka fenomena yang terjadi yaitu perbedaan Kalor[6]. Prinsip inilah yang dimanfaatkan *thermoelektric* sebagai pendingin/pompa kalor. *Thermoelectric* terdiri dari dua buah bahan yang berbeda yang disambungkan. Bahan yang dipilih memiliki koefisien *Seebeck* yang cukup tinggi. Untuk saat ini kebanyakan *thermoelektric* menggunakan *Bismuth-Telluride* sebagai bahan pembuatnya.

Ketika dua sisi keping peltier melakukan aktifitas menyerap dan melepaskan kalor disebabkan adanya aliran listrik pada dua jenis material bahan semikonduktor yang ada pada keping peltier, sehingga bisa diasumsikan bahwasannya ada faktor lain selain aliran listrik yang menunjang terciptanya energy panas pada sisi peltier yang melepaskan kalor. Faktor tersebut adalah udara luar yang diserap oleh sisi peltier yang satunya, sehingga ada harapan mampu memanaskan kepingan peltier lain yang difungsikan sebagai generator sehingga dapat menghasilkan keluaran yang mampu melebihi supply daya yang diberikan pada keping peltier lain yang difungsikan sebagai penghasil panas.



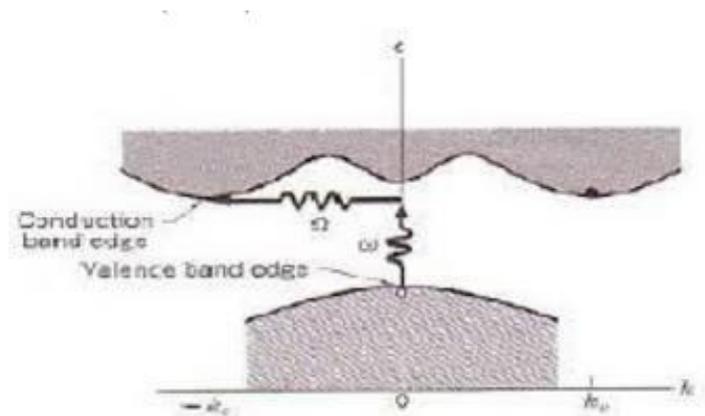
Gambar 2.7 Skema efek peltier pada suatu bahan

2.4.3 Efek Thomson

Efek Thomson diperkirakan dan kemudian diamati oleh William Thomson pada tahun 1851. Ini menjelaskan pemanasan atau pendinginan dari konduktor pembawa arus dengan gradien temperatur.

Pada semikonduktor, ketika tidak diberikan energi (atau energinya kurang dari batas minimumnya) maka elektron akan tersimpan pada pita valensinya dengan ikatan kovalen yang cukup besar. Ketika diberikan suatu energi, maka elektron tersebut akan tereksitasi meninggalkan pita valensi menuju pita konduksinya yang selanjutnya akan menghasilkan arus. Untuk kasus semikonduktor tipe-n, ketika elektron tereksitasi ke pita konduksi, maka akan ada hole dari hasil perpindahan elektron tersebut

Setelah itu, hole tersebut akan diisi oleh elektron selanjutnya dan elektron yang pindah ke hole satu, akan menghasilkan hole selanjutnya. Sehingga akan terlihat pergerakan hole yang berlawanan pergerakan dari elektron (arus).



Gambar 2.8 Pita Konduksi dan Pita Valensi Pada elektron

2.5 Bahan Semikonduktor

Bahan semikonduktor sendiri merupakan elemen dasar dari komponen elektronika, seperti transistor, IC serta diode. Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor dengan besar energi gap < 6 eV[7]. Mengetahui karakteristik yang unik ini maka peran semikonduktor sangatlah penting dalam dunia elektronika, disebabkan konduktivitasnya yang dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut dengan doping). Semikonduktor sangat luas pemakaiannya, terutama sejak ditemukannya transistor pada akhir tahun 1940-an. Oleh karena itu semikonduktor dipelajari secara intensif dalam fisika zat padat. Namun dalam penelitian ini hanya akan membahas bahan semikonduktor *Thermoelectric* (Peltier) saja.

Bahan semikonduktor *Thermoelectric* bekerja dengan memanfaatkan efek peltier, yang merupakan kebalikan dari dari efek *Seebeck*. Efek peltier terjadi dimana jika dua logam yang berbeda disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor

atau proses penyerapan panas dan pelepasan energi panas. Salah satu komponen elektronika yang bekerja menggunakan prinsip tersebut adalah modul peltier, sehingga dalam modul peltier akan terjadi dua kondisi di kedua sisi modul *thermoelectric* peltier dengan sisi panas untuk proses pelepasan panas dan kondisi dingin pada sisi penyerapan panas. Prinsip inilah yang diugunakan *thermoelectric* sebagai pendingin/pompa kalor.

Semikonduktor adalah bahan pilihan untuk *thermoelectric* yang umum dipakai. Bahan semikonduktor *thermoelectric* yang paling sering digunakan saat ini adalah *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3) yang telah diolah untuk menghasilkan blok atau elemen yang memiliki karakteristik individu berbeda yaitu N dan P. Bahan *thermoelectric* lainnya termasuk *Timbal Telluride* (PbTe), *Silicon Germanium* (SiGe) dan *Bismuth-Antimony* (SbBi) adalah paduan bahan yang dapat digunakan dalam situasi tertentu. Namun, *Bismuth Telluride* adalah bahan terbaik dalam hal pendinginan.

Bismuth Telluride memiliki dua karakteristik yang patut dicatat. Karena struktur kristal, *Bismuth Telluride* sangat anisotropic. Perilaku anisotropic perlawanan lebih besar daripada konduktivitas termalnya. Sehingga anisotropic ini dimanfaatkan untuk pendinginan yang optimal. Karakteristik lain yang menarik dari *Bismuth Telluride* adalah kristal *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3) terdiri dari lapisan heksagonal atom yang sama.

Energi panas bisa dimanfaatkan sehingga bisa lebih berguna dengan mengkonversi atau mengubahnya menjadi energy listrik yang tentunya menngunakan pengubah atau pengkonversi yang dapat merubah dari energy panas

menjadi energy listrik yang dinamakan generator. Modul peltier bisa dimanfaatkan sebagai generator panas dengan mengaplikasikan prinsip efek *Seebeck*.

Berdasarkan dari prinsip-prinsip diatas dalam upaya penciptaan energy terbarukan yang ramah lingkungan maka perlu diadakannya penelitian untuk mengetahui efektifitas dari modul peltier yang mana memanfaatkan kedua prinsip diatas, yaitu efek *Seeback* dan efek peltier, yang kedua prinsip tersebut bisa ditemukan pada bahan semikonduktor *thermoelectric peltier*.

2.6 Sepeda Motor

Sepeda motor adalah kendaraan beroda dua yang digerakkan oleh sebuah mesin. Letak kedua roda sebaris lurus dan pada kecepatan tinggi sepeda motor tetap stabil disebabkan oleh gaya giroskopik. Sedangkan pada kecepatan rendah, kestabilan atau keseimbangan sepeda motor bergantung kepada pengaturan setang oleh pengendara. Penggunaan sepeda motor di Indonesia sangat populer karena harganya yang relatif murah, terjangkau untuk sebagian besar kalangan dan penggunaan bahan bakarnya serta biaya operasionalnya cukup hemat. Prinsip kerja motor bensin adalah mesin yang bekerja memanfaatkan energi dari hasil gas panas hasil proses pembakaran, dimana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja menjadi tenaga atau energi panas [8].

Pada sepeda motor terdapat exhaust atau biasa disebut juga knalpot, Terlebih pada kendaraan roda dua, part ini sangat kelihatan mencolok menjadi bagian sepeda motor. Dan untuk sekarang ini, knalpot memiliki sejumlah model

dan bentuk yang beragam. Hal tersebut karena untuk mendapatkan dongkrakan tenaga dan juga tampilan. Namun diluar itu, sebenarnya seperti apa fungsi dari knalpot motor ini. Dari beberapa informasi yang berhasil dihimpun, ternyata knalpot memiliki banyak fungsi untuk sebuah sepeda motor.

a. Peredam suara mesin

Karena mesin sepeda motor menggunakan teknologi kombusi atau meledakan bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga gerak. Ledakan tersebut pastinya mengeluarkan suara yang cukup keras dan mengganggu. Untuk itu butuh komponen guna meredammnya yang disebut knalpot. Peredaman suaranya sendiri juga bervariasi, ada yang disetting dengan suara yang masih agak keras namun 'merdu'. Knalpot seperti ini biasanya digunakan untuk motor sport atau untuk balap. Sementara untuk peredaman yang sangat pelan, biasanya untuk motor standard pabrikan biasanya memiliki suara yang cukup pelan bahkan nyaris tidak terdengar.

b. Meningkatkan tenaga mesin

Tidak dipungkiri karena knalpot sifatnya untuk meredam, jadi menghambat gas buang hasil pembakaran mesin. Peredaman tersebut menjadikan tenaga mesin berkurang. Namun dengan settingan yang pas dan perhitungan yang tepat, knalpot justru bisa jadi pendongkrak tenaga mesin sepeda motor. Untuk peredam gas buang yang bisa mendongkrak tenaga mesin sepeda motor ini biasanya disebut dengan knalpot racing. Dan biasanya memiliki raungan suara yang lebih keras dibandingkan dengan knalpot standard bawaan pabrikan.

c. Mengurangi polusi udara

Untuk era sekarang ini teknologi terbaru knalpot sudah menggunakan catalytic converter yang berfungsi untuk membantu mengkonversi karbon yang keluar melalui gas buang kendaraan bermotor. Hal ini dapat membantu untuk meningkatkan efisiensi emisi gas buang yang dikeluarkan dan dapat mengurangi peningkatan dari polusi udara

Berdasarkan fungsinya, *exhaust* sendiri memiliki suhu panas yang dihasilkan oleh sisa pembakaran sepeda motor, energi panas inilah yang akan dimanfaatkan menjadi energi listrik menggunakan *thermoelectric*.

2.7 Heatsink dan Coldsink

2.7.1 Heatsink

Heatsink ini merupakan logam dengan design yang khusus terbuat dari alumunium dan juga tembaga yang berfungsi untuk memperluas proses transfer panas dari sebuah prosesor. Komponen- komponen cpu yang biasanya dipakai untuk menyerap panas ini biasanya terbuat dari bahan aluminium yang biasanya banyak dipadukan dengan pemakaian fan pada heatsink untuk lebih mengoptimalkan penyerapan panas yaitu dengan mengalirkan panas dari heatsink ke luar cpu, proses ini akan menyebabkan meningkatnya performa kerja komputer. *Heatsink* digunakan untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. Potensi pembangkitan daya dari modul *thermoelectric* tunggal akan berbeda beda bergantung pada ukuran, konstruksi dan perbedaan temperaturnya. Perbedaan temperatur yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar[9].

Pada peltier, heatsink digunakan untuk menyalurkan/menghantarkan panas ke permukaan sisi peltier, sehingga panas yang diperoleh menjadi maksimal dan juga merata, dan juga heatsink harus memiliki permukaan yang rata dan halus, sebab jika permukaan tidak rata maka suhu yang disalurkan tidak akan maksimal dan akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan nantinya. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi, biasanya heatsink dilapisi oleh pasta thermal, ini dilakukan agar suhu yang dikirimkan menjadi lebih maksimal dan efisien. Heatsink bisa kita dapatkan di toko-toko elektronik, biasanya dijual di toko onlinedengan harga yang bervariasi, tergantung dari ukuran dan juga kualitas heatsink tersebut.



Gambar 2.9 Heatsink

2.7.2 Coldsink

Coldsink merupakan benda yang digunakan untuk mengurangi suhu panas pada satu peralatan elektronik, umumnya ini digunakan pada IC, CPU dan juga peltier. *Coldsink* ini fungsinya hampir sama dengan *heatsink*, yaitu sama-sama menyerap suhu, bedanya adalah jika *heatsink* digunakan untuk menyalurkan panas

ke peltier, namun *coldsink* digunakan untuk menurunkan atau bahkan menghilangkan suhu panas pada peltier. Hal ini dilakukan agar perbedaan suhu yang terjadi pada peltier tetap terjaga, agar energi listrik yang dihasilkan menjadi lebih optimal dan peltier tidak *overheat*, karena jika peltier terlalu panas akan menyebabkan kerusakan yang fatal, sehingga peltier tidak dapat digunakan kembali. Dalam penggunaannya, *coldsink* terkadang diberi tambahan berupa *fan* untuk memaksimalkan kinerja dari *coldsink* itu sendiri. Pada penggunaannya di penelitian ini *coldsink* juga diberikan pasta termal, tetap berbeda dengan dengan *heatsink*, disini *coldsink* menggunakan pasta termal yang mampu mengurangi suhu panas dari peltier.



Gambar 2.10 *Coldsink*

2.8 Panas

Panas merupakan suatu bentuk energi. Panas memiliki kaitan erat dengan getaran atau gerakan molekul. Molekul adalah bagian atau partikel dari suatu benda. Apabila benda dipanaskan molekul akan bergerak cepat sedangkan apabila didinginkan molekul akan bergerak lemah. Perpindahan panas terjadi karena

perbedaan suhu yang terdapat pada suatu benda. Perpindahan panas dapat berlangsung melalui salah satu dari tiga cara yaitu konduksi, radiasi dan konveksi[10].

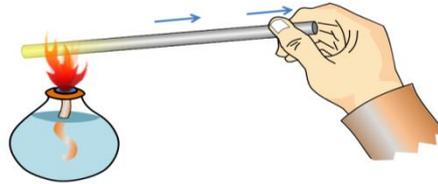
Jika panas diambil dari suatu benda maka temperatur benda itu akan turun. Makin banyak panas yang diambil temperatur benda menjadi makin rendah, tetapi setelah mencapai $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ maka panas itu tidak dapat lagi dikeluarkan dengan perkataan lain temperatur tersebut adalah yang terendah yang tidak dapat dicapai dengan cara apapun. Karena itu maka temperatur $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ dikatakan sebagai nol absolute dan didalam dunia ilmu dikenal sebagai 0°K .

Perpindahan panas terjadi oleh karena adanya perbedaan temperatur, dimana panas mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur lebih rendah. Perpindahan panas terjadi dengan tiga cara yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi dapat didefinisikan sebagai perpindahan panas yang terjadi melalui medium yang diam, misalnya perpindahan panas di dalam benda padat. Sedang konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan dengan fluida yang bergerak karena adanya gradien temperatur yang disebabkan perbedaan rapat massa, misalnya dari plat ke udara[11].

2.8.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas konduksi, dimana proses perpindahan panas terjadi antara benda atau partikel-partikel yang berkontak langsung melekat satu dengan yang lainnya, tidak ada pergerakan relatif diantara benda-benda tersebut . Misalnya panas yang berpindah di dalam sebuah batang logam akibat pemanasan salah satu ujungnya seperti terlihat pada gambar, ujung A menjadi naik

temperaturnya walaupun yang dipanasi ujungnya adalah ujung B. Gambar menunjukkan prinsip dari laju perpindahan panas konduksi pada dinding pelat.



Gambar 2.11 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Panas mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan panas dinyatakan dengan hukum Fourier.

$$q_k = k \frac{A}{L} (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(2.2)$$

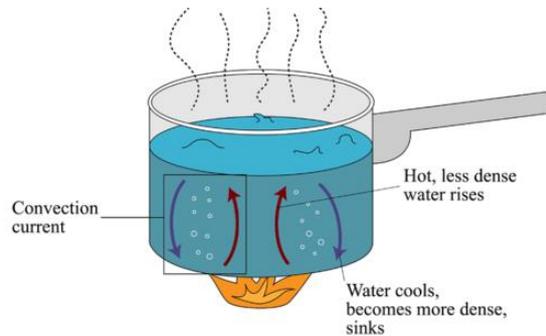
Dimana :

- q_k = laju konduksi yang berpindah (W)
- A = luas penampang bidang (m²)
- L = tebal dinding (m)
- k = konduktivitas thermal (W/mK)
- T = temperatur (°K)

2.8.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas konveksi, dimana perpindahan panas terjadi di antara permukaan sebuah benda padat dengan fluida (cairan atau gas) yang mengalir menyentuh permukaan tadi. Misalnya dinding pipa logam yang menjadi panas atau dingin akibat fluida panas atau dingin yang mengalir di dalamnya. Apabila

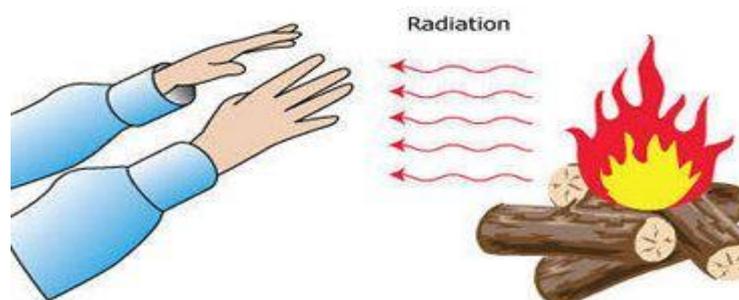
aliran udara disebabkan oleh sebuah blower, kita menyebutnya sebagai konveksi paksa, dan apabila disebabkan oleh gradien massa jenis, maka disebut konveksi alamiah.



Gambar 2.12 Perpindahan Panas Secara Konveksi

2.8.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi di antara dua permukaan yang terjadi tanpa adanya media perantara. Misalnya perpindahan panas antara matahari dengan mobil berwarna hitam yang diparkir di tempat yang terik. Udara bukanlah perantara dalam perpindahan panas ini karena temperatur udara di sekitar mobil tersebut lebih rendah daripada temperatur mobil tersebut.



Gambar 2.13 Perpindahan Panas Secara Radiasi

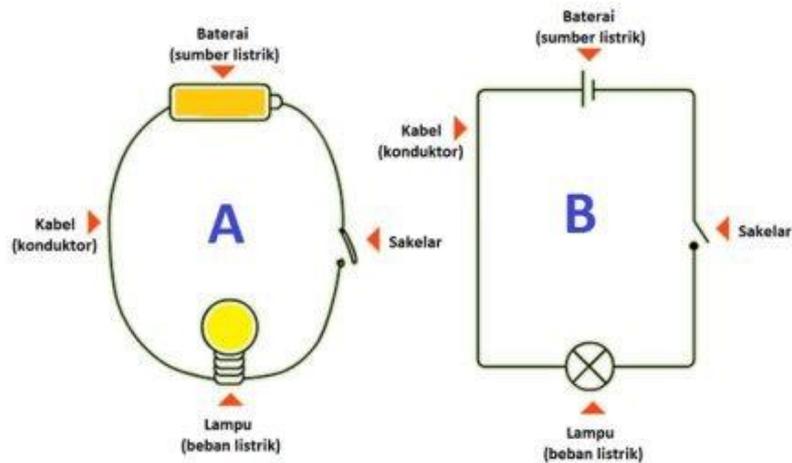
2.8.4 Kalor Jenis

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diserap atau diperlukan oleh 1 gram zat untuk menaikkan suhu sebesar 1°C . Kalor jenis juga diartikan sebagai kemampuan suatu benda untuk melepas atau menerima kalor. Masing-masing benda mempunyai kalor jenis yang berbeda-beda. Satuan kalor jenis $\text{J}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$.

2.9 Rangkaian Listrik

Rangkaian listrik adalah sebuah jalur atau rangkaian sehingga elektron dapat mengalir dari sumber voltase atau arus listrik. Proses perpindahan elektron inilah yang kita kenal sebagai listrik. Elektron dapat mengalir pada material penghantar arus listrik yakni konduktor. Oleh karena itu kabel dipakai pada rangkaian listrik karena kabel terbuat dari tembaga yang dapat menghantarkan arus listrik. Tempat dimana elektron masuk ke dalam rangkaian listrik dinamakan dengan sumber listrik. Setiap benda yang memakai listrik untuk penggunaannya disebut sebagai beban listrik.

Pada gambar dibawah, lampu merupakan beban listrik dan sumber listrik berasal dari baterai; listrik mengalir melalui kabel dan sakelar berfungsi untuk memutus atau menyambungkan aliran listrik. Untuk menggambar rangkaian listrik, kita harus menyederhanakan gambar seperti pada contoh dibawah dari gambar A menjadi gambar B.

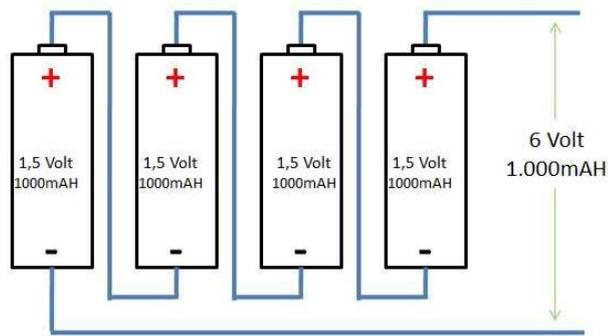


Gambar 2.14 Rangkaian Listrik

Benda apapun dapat menjadi beban listrik, oleh karena itu simbol universal untuk beban listrik adalah hambatan (resistor). Terdapat dua tipe rangkaian yaitu: rangkaian seri dan rangkaian paralel. Rangkaian seri dan paralel dapat dikombinasikan sehingga menjadi rangkaian kombinasi atau gabungan.

2.9.1 Rangkaian Seri

Pada dasarnya, Baterai dapat dirangkai secara Seri maupun Paralel. Tetapi hasil Output dari kedua Rangkaian tersebut akan berbeda. Rangkaian Seri Baterai akan meningkatkan Tegangan (Voltage) Output Baterai sedangkan Current/Arus Listriknya (Ampere) akan tetap sama. Hal ini Berbeda dengan Rangkaian Paralel Baterai yang akan meningkatkan Current/Arus Listrik (Ampere) tetapi Tegangan (Voltage) Outputnya akan tetap sama.



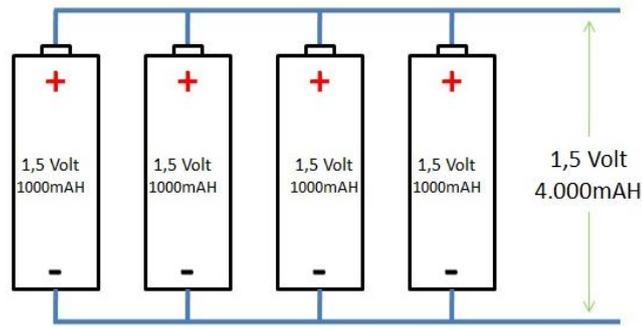
Gambar 2.15 Rangkaian Seri

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n \dots\dots\dots(2.3)$$

Dari gambar 2.15 dapat kita liha bahwa, 4 buah baterai masing-masing menghasilkan Current atau kapasitas arus listrik (Ampere) yang sama seperti Arus Listrik pada 1 buah baterai, tetapi Tegangannya yang dihasilkan menjadi 4 kali lipat dari Tegangan 1 buah baterai. Yang dimaksud dengan Tegangan dalam Elektronika adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam Rangkaian Listrik yang dinyatakan dengan satuan volt. Seperti yang digambarkan pada rangkaian seri baterai diatas, 4 buah Baterai yang masing-masing bertegangan 1,5 Volt dan 1.000 miliampere per jam (mAh) akan menghasilkan 6 Volt Tegangan tetapi kapasitas arus Listriknya (Current) akan tetap yaitu 1.000 miliampere per jam (mAh)

2.9.2 Rangkaian Paralel

Berbeda dengan rangkaian seri yang disusun secara sejajar atau berurutan, pada rangkaian paralel ini rangkaian tidak disusun secara sejajar. Dengan kata lain pada input setiap komponen semuanya berasal dari sumber yang sama. Salah satu contoh dari rangkaian paralel ini yaitu lampu lalu lintas.



Gambar 2.16 Rangkaian Paralel

Seperti yang terlihat pada gambar 2.16, tegangan yang dihasilkan dari rangkaian paralel adalah sama yaitu 1,5 Volt tetapi *current* atau kapasitas arus listrik yang dihasilkan adalah 4.000 mAH (miliampere per Jam) yaitu total dari semua kapasitas arus listrik pada Baterai.

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \dots\dots\dots(2.4)$$

2.9.3 Tenaga Listrik

Tenaga listrik atau daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja.

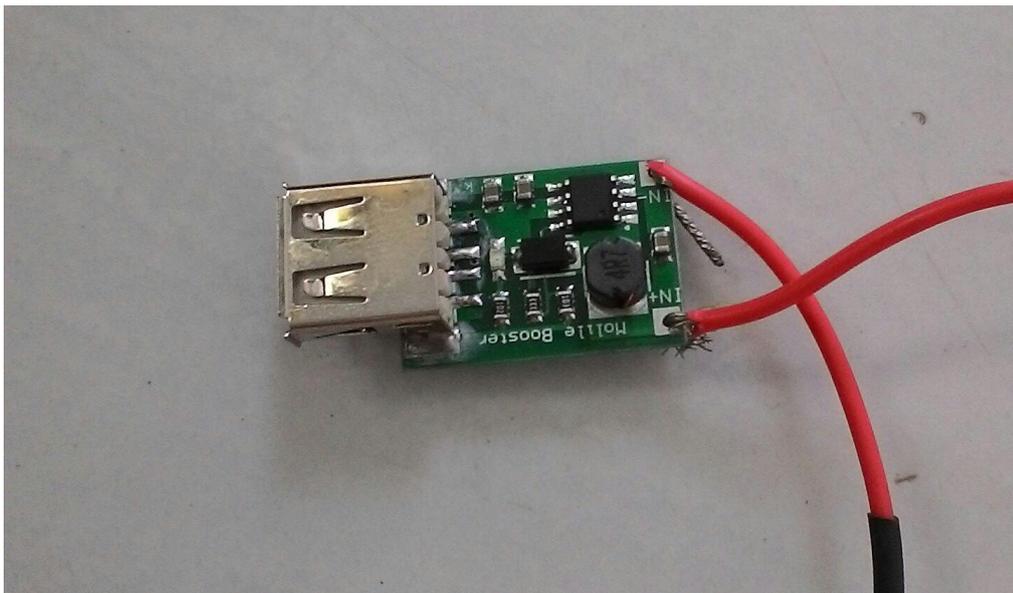
Rumus umum yang digunakan untuk menghitung Daya Listrik dalam sebuah Rangkaian Listrik adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan kata lain, 1 W adalah didefinisikan sebagai daya listrik yang diburuhkan bila tegangan 1 V dihubungkan ke lampu dan arus 1 A mengalir melalui lampu tersebut.

2.10 Boost Converter/DC to DC Converter

Boost Converter adalah sebuah teknik *Power supply switching Step-Up* yang merupakan konverter daya dari DC ke DC dengan tegangan output lebih besar dari tegangan input. Ini merupakan teknik *switched-mode power supply* (SMPS) yang mengandung setidaknya dua semikonduktor switching (dioda dan transistor) dan setidaknya satu elemen penyimpanan energy seperti kapasitor, induktor, atau kombinasinya. Filter biasanya terbuat dari kapasitor (namun kadang-kadang berada dalam kombinasi dengan induktor juga) biasanya ditambahkan untuk output *converter* sehingga dapat mengurangi riak tegangan output.



Gambar 2.17 Modul Dc to DC Boost Converter

Pada peltier alat ini berfungsi untuk menaikkan tegangan menjadi 5 volt. Saat peltier menghasilkan energi listrik, maka alat akan secara otomatis menaikkan tegangannya menjadi 5 volt, namun tegangan yg di input minimal

harus mencapai 0,9 volt ataupun 2 volt, tergantung dari jenis booster yang digunakan. Alat ini juga memiliki batasan maksimal arus yang bisa diterima, yaitu 600 mAH untuk *booster* yang minimal tegangannya 0,9 volt, dan 1200 mAH untuk tegangan 2 volt. Setelah nilai tegangan dinaikkan menjadi 5 volt, nantinya akan digunakan untuk mencharge handphone ataupun yang lainnya, dan kecepatan mengisi daya pada alat handphone tergantung dari besar arus yang dihasilkan, semakin besar arus yang dihasilkan maka akan semakin cepat daya terisi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

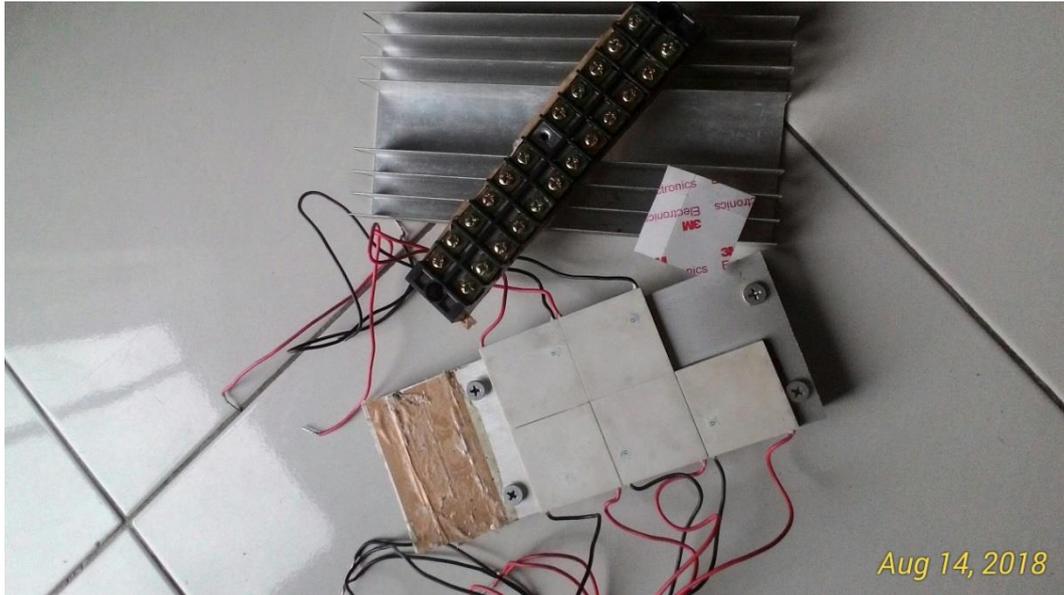
Waktu dan tempat pelaksanaan pembuatan alat pemanfaatan energi panas *exhaust* sepeda motor sebagai sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric* sebagai berikut :

1. Tempat pembuatan alat : Jl. Pancing, Medan Tembung, Kota Medan
2. Tempat Pengambilan Data : Jl. Pancing, Medan Tembung, Kota Medan
3. Waktu Pelaksanaan : 20 Juni 2018 – 29 Agustus 2018

3.2 Bahan dan Alat

Dalam pembuatan alat pemanfaatan panas *exhaust* sepeda motor sebagai sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric* adalah sebagai berikut :

- a. Bahan :
 - Enam buah *thermoelectric* TEC-12706.
 - Kertas *thermal* ukuran 4x4 cm 6 lembar
 - Heatsink ukuran 20x7 cm
 - Coldsink ukuran 19x10 cm
 - Terminal kabel 12 slot
 - Baut dan mur sebanyak 4 buah
 - Klem 2 buah
 - Sepeda motor matic 110 cc



Gambar 3.1 Bahan Penelitian

b. Alat

- Tang
- Obeng
- Bor
- Multitester digital
- Thermometer

3.3 Proses Pembuatan Alat

Untuk membuat pembangkit energi listrik menggunakan *thermoelectric* alat dan bahan sudah dijelaskan di awal bab ini. Kemudian alat dan bahan tersebut dirangkai dengan cara seperti berikut :

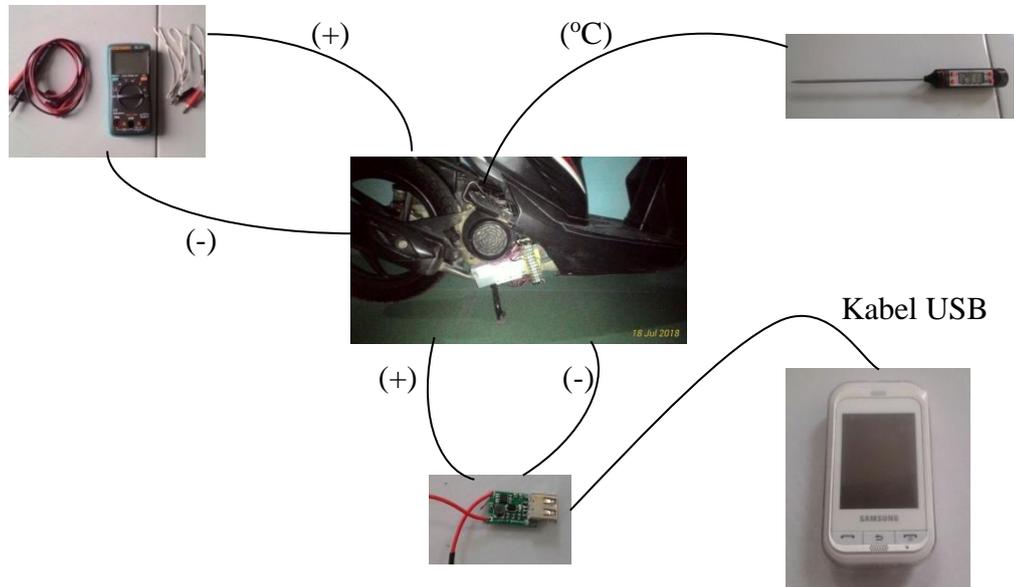
1. Membuat empat lubang pada sisi kanan dan kiri *heatsink* sebagai tempat untuk memasukan baut

2. Memberikan atau memasang kertas *thermal* pada *thermoelectric* yang berguna untuk menempelkannya ke *heatsink*
3. Memasang *thermoelectric* pada permukaan *heatsink*, yang mana sudah diberi kertas *thermal* agar *thermoelectric* menempel dengan baik dan tidak mudah lepas.
4. Memasang terminal kabel di bagian tepi *heatsink*.
5. Masukkan kabel-kabel *thermoelectric* ke slot terminal sesuai dengan rangkaian yang digunakan. Rangkaian yang digunakan disini ada dua yaitu seri dan paralel.
6. Setelah cara ke 1 sampai ke 5 telah dilakukan, maka selanjutnya bahan yang sudah terangkai tadi dipasang ke *exhaust* (knalpot) sepeda motor menggunakan klem dan baut seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat Uji saat dipasang pada *Exhaust* Sepeda Motor

3.4 Gambar Rangkaian Keseluruhan

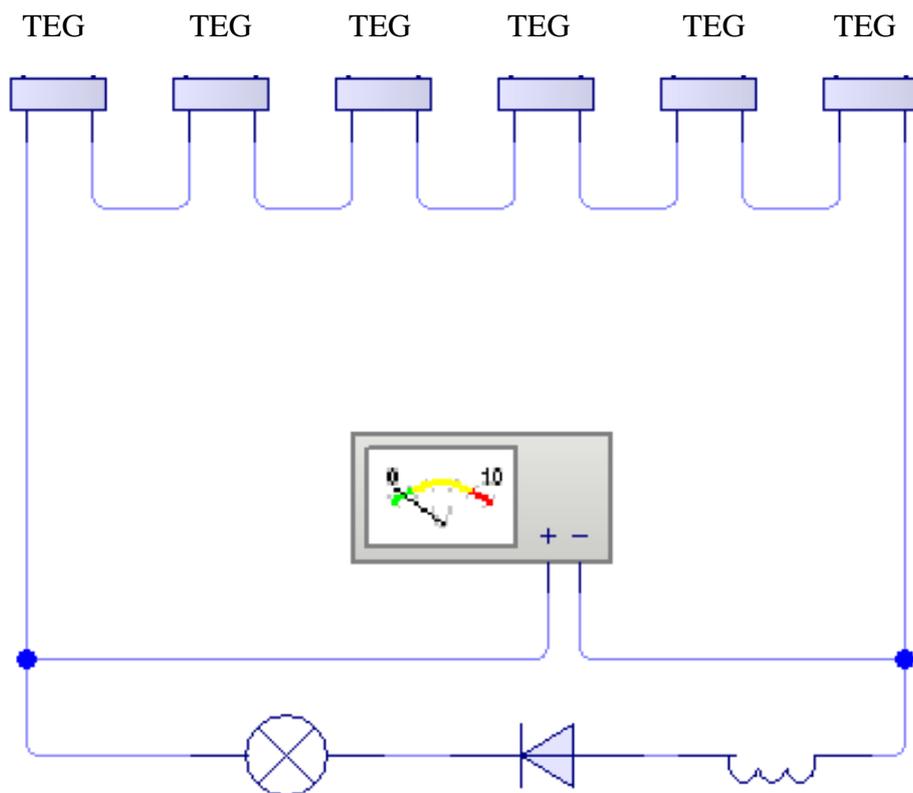


Gambar 3.3 Rangkaian Keseluruhan

Seperti yang terlihat pada gambar 3.3, bahwa rangkaian dimulai dari *exhaust* yang mengkonversi energi panas menjadi energi listrik berbentuk DC. Setelah itu dilakukan pengamatan dengan cara mengamati perubahan suhu yang terjadi pada *thermoelectric*, saat suhu sudah mencapai nilai yang diinginkan tempelkan coldsink pada thermoelectric, hal ini dilakukan untuk membuat gradien/perbedaan suhu dikedua sisi *thermoelectric* yang akan menghasilkan tegangan listrik maupun arus. Sebelum menempelkan *coldsnik* tadi, terlebih dahulu pasang kabel-kabel *thermoelectric* pada terminal, pemasangan dilakukan dengan dua cara yaitu seri dan paralel. Setelah hal-hal diatas dilakukan maka langkah selanjutnya adalah proses pengambilan data, yaitu dengan cara menghitung *output* tegangan yang dihasilkan oleh *thermoelectric* menggunakan multimeter digital, hubungkan kedua kabel multimeter pada kedua kutub positif dan negatif *thermoelectric* yang ada di terminal kabel. Hitung berapa nilai yang

keluar dan catat, lakukan hal ini sesuai dengan pengujian yang ada pada penelitian. Untuk langkah selanjutnya pasang *booster dc-dc converter* pada terminal dan lepaskan kabel multimeter yang tadi, pemasangan kabel bosster harus sesuai dengan kutubnya jangan sampai terbalik, karena akan membuat *booster* menjadi rusak. Setelah bosster terpasang masukkan kabel *charger* ke alat tersebut seperti saat kita akan mengecas handphone pada umumnya, lihat apakah lampu indikator pada *booster* sudah menyala atau tidak, saat menyala, maka sudah bisa digunakan untuk mengecas handphone

3.5 Skematik Rangkaian



Gambar 3.4 Skematik Rangkaian

3.6 Proses Pengambilan Data

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengambilan data :

1. Memasang alat pada exhaust sepeda motor (lihat gambar 3.2) dan nyalakan sepeda motor.
2. Mengukur temperatur pada *heatsink* untuk mengetahui nilai suhunya dan catat.
3. Mengukur temperatur pada *coldsink* untuk mengetahui nilai suhunya dan catat.
4. Memasang *coldsink* dengan cara menempelkannya pada *thermoelectric*.
5. Mengukur output tegangan dan arus yang keluar menggunakan multimeter digital.
6. Mencatat nilai output maksimal yang terbaca pada multimeter dengan variasi suhu yang berbeda yaitu 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C dengan suhu *coldsink* 30 °C disetiap variasinya.
7. Setelah semua selesai matikan sepeda motor dan lepaskan peralatan.

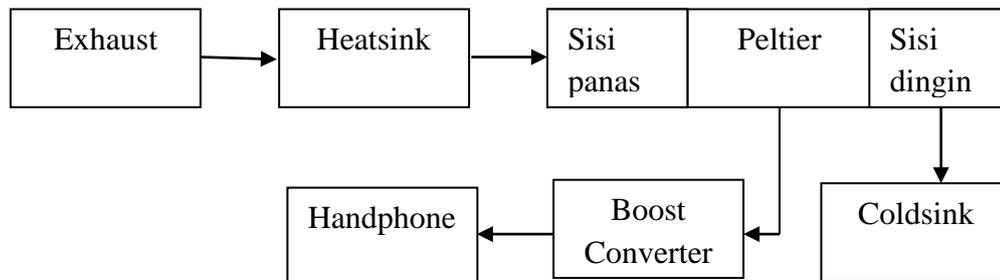
3.7 Proses Uji Kinerja

Dalam penelitian ini, pengujian dibagi dalam beberapa metode dan juga waktu berbeda. Ada beberapa metode yang perlu dilakukan dalam pengujian alat, hal ini dilakukan untuk mengetahui metode mana yang paling baik untuk mendapat hasil yang paling optimal dalam menghasilkan energi listrik:

1. Pengujian dilakukan dengan variasi rangkaian yaitu: seri dan paralel
2. Pengujian dilakukan saat siang hari dan malam hari

3. Pengujian dilakukan dengan variasi temperatur yaitu 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C dengan suhu coldsink 30 °C disetiap variasinya.

3.8 Diagram Blok



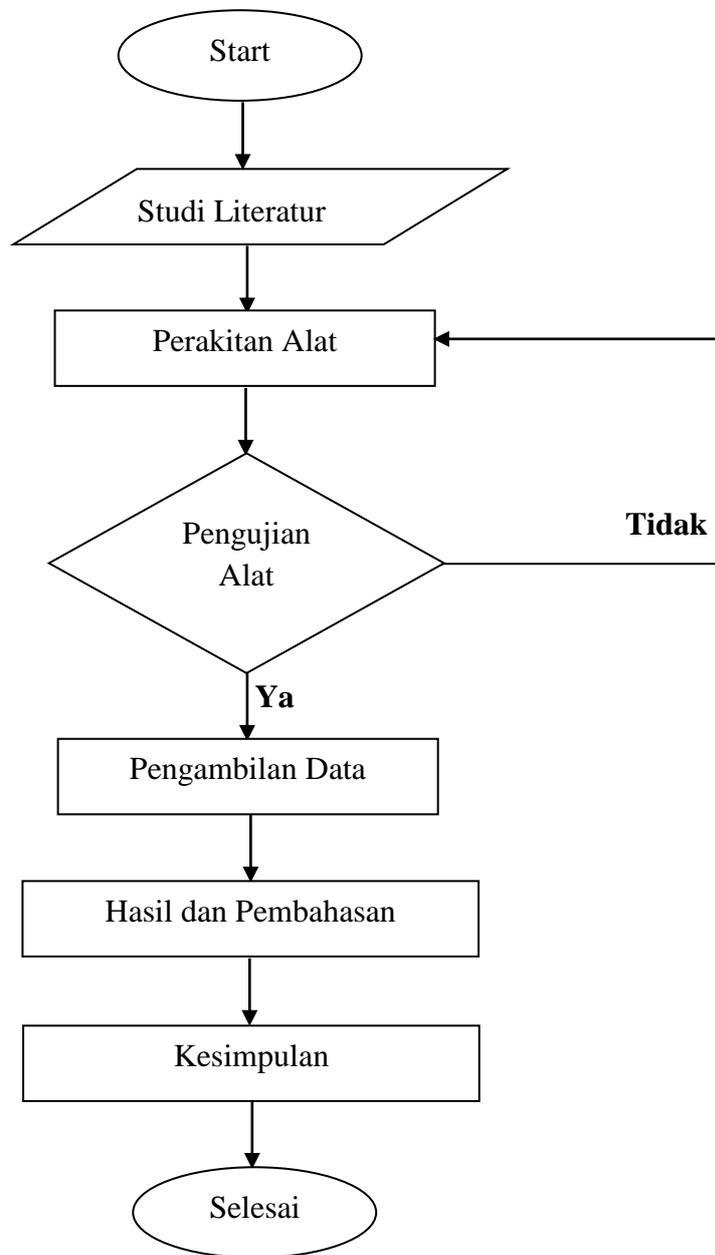
Gambar 3.5 Diagram Blok

Saat sepeda motor dinyalakan maka akan menghasilkan energi panas pada bagian mesinnya, terutama pada bagian exhaust/ knalpotnya. Exhaust akan mengirimkan panas ke heatsink secara konduksi yang akan membuat heatsink mengalami perubahan suhu/ kenaikan suhu. Setelah heatsink menjadi panas, maka sisi peltier yang telah ditempelkan pada permukaan heatsink akan terjadi perubahan suhu juga yaitu menjadi panas, saat sisi peltier mengalami perubahan temperatur suhu maka akan menghasilkan output tegangan maupun arus listrik, namun output yang dihasilkan tidak akan maksimal karena hanya ada sedikit gradien suhu yang terjadi pada peltier, maka untuk itu dipasang coldsink untuk mendinginkan sisi yang lain pada peltier, agar gradien temperatur yang dihasilkan menjadi lebih besar, sehingga output yang dihasilkan menjadi lebih maksimal. Setelah output yang dihasilkan telah maksimal boost converter akan menaikkan tegangan yang akan digunakan untuk mencas handphone.

3.8.1 Cara Kerja *Thermoelectric*

Saat *thermoelectric* mendapatkan suhu panas dan dingin maka bahan semikonduktor yang ada di dalam *thermoelectric* akan menghasilkan elektron elektron yang akan bergerak menuju penampang dan ke output. Hal ini terjadi sebab jika dua bahan semikonduktor yang berbeda jenis bila masing-masing permukaan memiliki gradien suhu maka akan menghasilkan tegangan.

3.9 Diagram Alir



Gambar 3.6 Diagram Alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 6 buah peltier yang dirangkai secara seri dan paralel. Pengujian dilakukan dalam 2 waktu, yaitu pada saat siang hari dan juga malam hari. Temperatur Coldsink yang digunakan sebesar 30°C dan waktu yang digunakan selama 10 detik.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil seperti berikut:

4.2 Pengujian Saat Siang Hari

Tabel 4.1 Data Output Rangkaian Seri Saat Siang Hari

| No | Jenis Rangkaian | Temperatur Heatsink (°C) | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Daya (Watt) |
|----|-----------------|--------------------------|-----------------|---------------|-------------|
| 1 | Seri | 50 | 3,897 | 0,090 | 0,3507 |
| 2 | Seri | 60 | 4,422 | 0,103 | 0,4554 |
| 3 | Seri | 70 | 5,055 | 0,118 | 0,5964 |
| 4 | Seri | 80 | 5,689 | 0,143 | 0,8135 |
| 5 | Seri | 90 | 6,630 | 0,155 | 1,0276 |

Perpindahan panas dari exhaust ke heatsink secara konduksi

$$q_k = \frac{k \cdot A}{L} (T_h - T_c)$$

$$q_k = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3}} (160 - 50)$$

$$q_k = 3,5^{-1} (110)$$

$$0,35(110) = 38,5 \text{ W}$$

$$q_k = \frac{k \cdot A}{L} (T_h - T_c)$$

$$q_k = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3}} (160 - 60)$$

$$q_k = 3,5^{-1} (100)$$

$$0,35(100) = 35 \text{ W}$$

$$q_k = \frac{k \cdot A}{L} (T_h - T_c)$$

$$q_k = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3}} (160 - 70)$$

$$q_k = 3,5^{-1} (90)$$

$$0,35(90) = 31,5 \text{ W}$$

$$q_k = \frac{k \cdot A}{L} (T_h - T_c)$$

$$q_k = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3}} (160 - 80)$$

$$q_k = 3,5^{-1} (80)$$

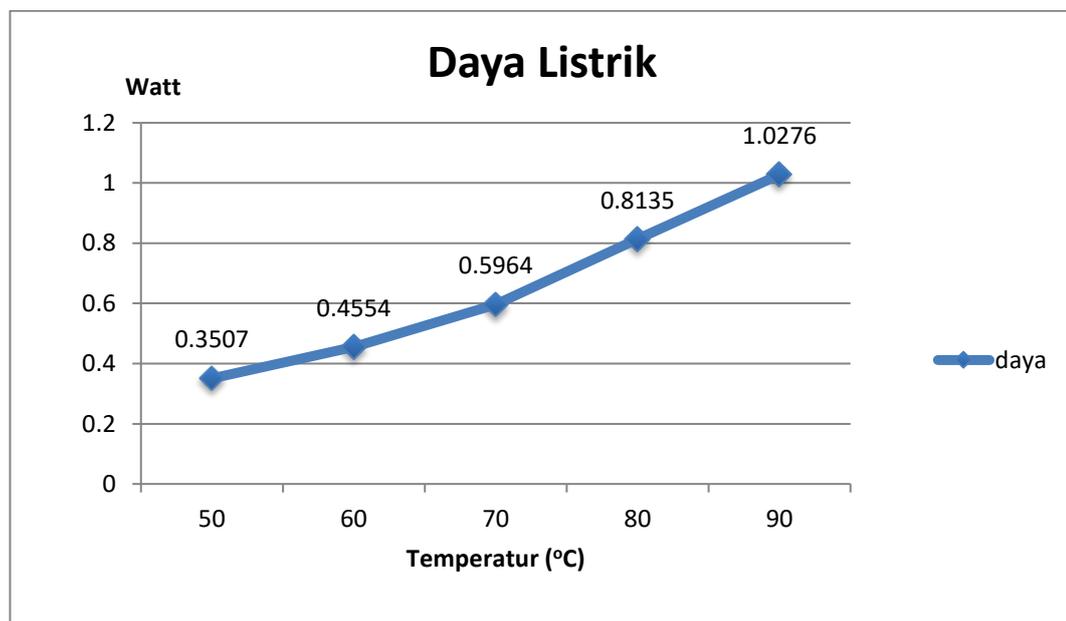
$$0,35(80) = 28 \text{ W}$$

$$qk = \frac{k \cdot A}{L} (Th - Tc)$$

$$qk = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3}} (160 - 90)$$

$$qk = 3,5^{-1} (70)$$

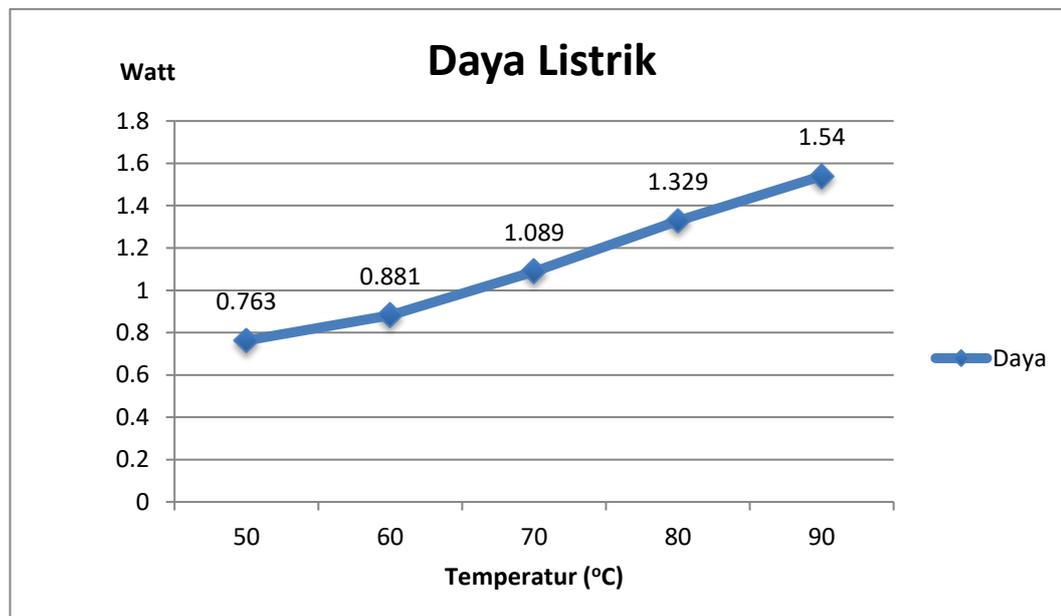
$$0,35(70)=24,5 \text{ W}$$



Grafik 4.1 Temperatur Terhadap Output R. Seri Saat Siang Hari

Tabel 4.2 Data Output Rangkaian Paralel Saat Siang Hari

| No | Jenis Rangkaian | Temperatur Heatsink (°C) | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Daya (Watt) |
|----|-----------------|--------------------------|-----------------|---------------|-------------|
| 1 | Paralel | 50 | 0,891 | 0,857 | 0,763 |
| 2 | Paralel | 60 | 0,925 | 0,953 | 0,881 |
| 3 | Paralel | 70 | 1,052 | 1,036 | 1,089 |
| 4 | Paralel | 80 | 1,149 | 1,157 | 1,329 |
| 5 | Paralel | 90 | 1,277 | 1,206 | 1,54 |

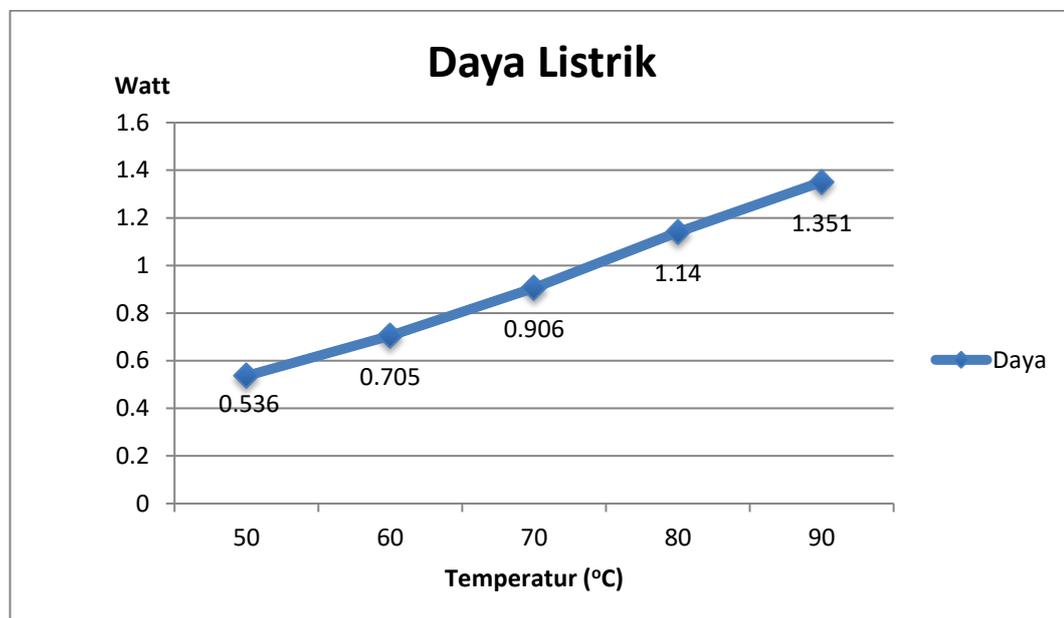


Grafik 4.2 Temperatur Terhadap Output R. Paralel Saat Siang Hari.

4.3 Pengujian Saat Malam Hari

Tabel 4.3 Data Output Rangkaian Seri Saat Malam Hari

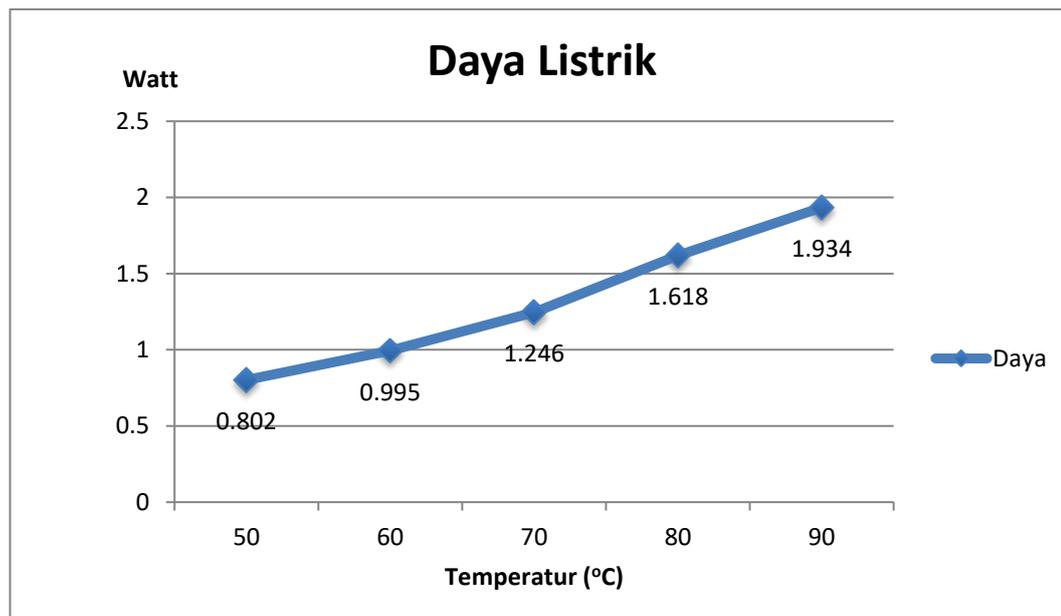
| No | Jenis Rangkaian | Temperatur Heatsink (°C) | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Daya (watt) |
|----|-----------------|--------------------------|-----------------|---------------|-------------|
| 1 | Seri | 50 | 4,094 | 0,131 | 0,536 |
| 2 | Seri | 60 | 4,701 | 0,150 | 0,705 |
| 3 | Seri | 70 | 5,300 | 0,171 | 0,906 |
| 4 | Seri | 80 | 6,134 | 0,186 | 1,140 |
| 5 | Seri | 90 | 6,690 | 0,202 | 1,351 |



Grafik 4.3 Temperatur Terhadap Output R. Seri Saat Malam Hari

Tabel 4.4 Data Output Rangkaian Paralel Saat Malam Hari

| No | Jenis Rangkaian | Temperatur Heatsink (°C) | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Daya (Watt) |
|----|-----------------|--------------------------|-----------------|---------------|-------------|
| 1 | Paralel | 50 | 0,857 | 0,936 | 0,802 |
| 2 | Paralel | 60 | 0,983 | 1,013 | 0,995 |
| 3 | Paralel | 70 | 1,082 | 1,152 | 1,246 |
| 4 | Paralel | 80 | 1,289 | 1,256 | 1,618 |
| 5 | Paralel | 90 | 1,473 | 1,313 | 1,934 |



Grafik 4.4 Temperatur Terhadap Ouput R. Paralel Saat Malam Hari

Dari data-data yang dihasilkan pada tabel-tabel di atas, maka didapatkan data seperti berikut:

Tegangan rata-rata rangkaian seri :

$$\frac{3,897 + 4,094}{2} = 3,9955 \text{ V}$$

$$\frac{4,422 + 4,701}{2} = 4,5615 \text{ V}$$

$$\frac{5,300 + 5,050}{2} = 5,1775 \text{ V}$$

$$\frac{5,689 + 6,134}{2} = 5,9115 \text{ V}$$

$$\frac{6,690 + 6,360}{2} = 6,66 \text{ V}$$

Tegangan rata-rata rangkaian paralel :

$$\frac{0,857 + 0,891}{2} = 0,874 \text{ V}$$

$$\frac{0,983 + 0,925}{2} = 0,954 \text{ V}$$

$$\frac{1,082 + 1,052}{2} = 1,067 \text{ V}$$

$$\frac{1,289 + 1,149}{2} = 1,219 \text{ V}$$

$$\frac{1,473 + 1,277}{2} = 1,375 \text{ V}$$

Arus rata-rata rangkaian seri :

$$\frac{0,131 + 0,090}{2} = 0,1105 \text{ A}$$

$$\frac{0,150 + 0,103}{2} = 0,14 \text{ A}$$

$$\frac{0,171 + 0,118}{2} = 0,1445 \text{ A}$$

$$\frac{0,186 + 0,143}{2} = 0,1645 A$$

$$\frac{0,202 + 0,155}{2} = 0,1785 A$$

Arus rata-rata rangkaian paralel :

$$\frac{0,936 + 0,857}{2} = 0,8965 A$$

$$\frac{1,013 + 0,953}{2} = 0,983 A$$

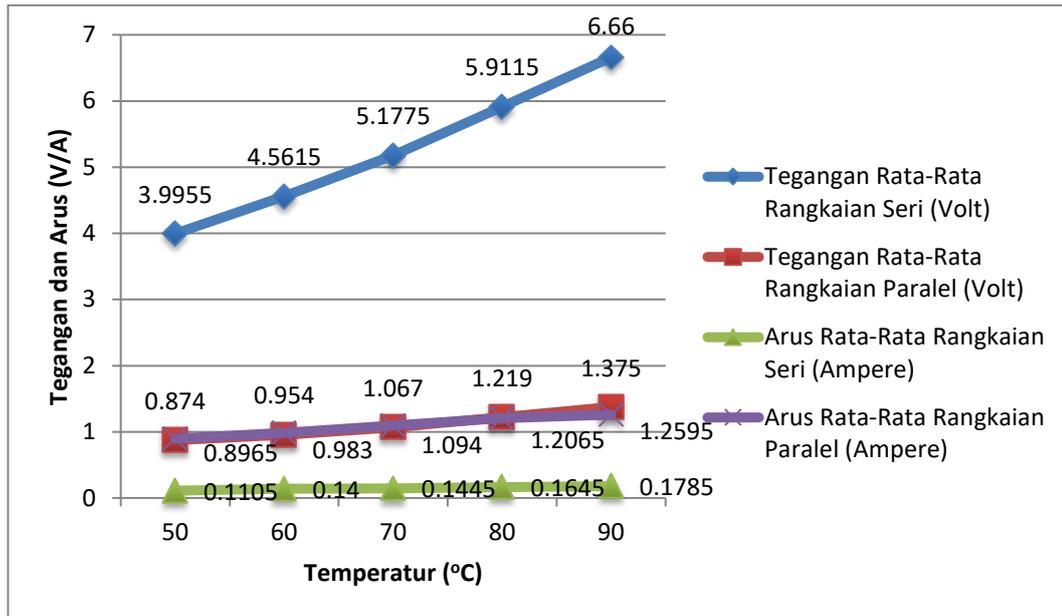
$$\frac{1,152 + 1,036}{2} = 1,094 A$$

$$\frac{1,256 + 1,036}{2} = 1,2065 A$$

$$\frac{1,313 + 1,206}{2} = 1,2595 A$$

Tabel 4.5 Data Output Tegangan dan Arus Rata-Rata

| No | Temperatur Heatsink (°C) | Tegangan Rata-Rata Rangkaian Seri (Volt) | Tegangan Rata-Rata Rangkaian Paralel (Volt) | Arus Rata-Rata Rangkaian Seri (Ampere) | Arus Rata-Rata Rangkaian Paralel (Ampere) |
|----|--------------------------|--|---|--|---|
| 1 | 50 | 3,9955 | 0,874 | 0,1105 | 0,8965 |
| 2 | 60 | 4,5615 | 0,954 | 0,14 | 0,983 |
| 3 | 70 | 5,1775 | 1,067 | 0,1445 | 1,094 |
| 4 | 80 | 5,9115 | 1,219 | 0,1645 | 1,2065 |
| 5 | 90 | 6,66 | 1,375 | 0,1785 | 1,2595 |



Grafik 4.5 Tegangan dan Arus Rata-Rata Saat Siang dan Malam Hari

Pada tabel 4.5 terlihat bahwa tegangan pada rangkaian seri menjadi yang paling tinggi dibanding yang lainnya, hal ini karena rangkaian seri membuat tegangan menjadi berkali lipat sesuai dengan banyaknya sumber daya, sedangkan tegangan pada rangkaian paralel terlihat sangat rendah karena pada rangkaian ini tegangan tidak akan bertambah walaupun sumber daya di perbanyak. Arus rata-rata pada rangkaian seri terlihat sangat rendah karena pada rangkaian seri arus tidak bertambah walaupun sumber dayanya ada banyak. Untuk arus rata-rata rangkaian paralel terlihat cukup tinggi, ini disebabkan rangkaian paralel akan semakin bertambah arus listriknya, seiring bertambah banyaknya sumber daya.

Pada penelitian ini juga membahas tentang nilai koefisien dari *thermoelectric* yang digunakan, untuk mencari tahu seberapa besar tegangan yang dapat dibangkitkan oleh alat tersebut, dan berikut adalah perhitungan nilai koefisien yang telah dilakukan :

Koefisien tegangan rata-rata rangkaian seri pada *thermoelectric*

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{3,9955}{20} = 0,199775 \text{ V/K}$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{4,5615}{30} = 0,15205 \text{ V/K}$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{5,1775}{40} = 0,12943 \text{ V/K}$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{5,9115}{50} = 0,11823 \text{ V/K}$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{6,66}{60} = 0,111 \text{ V/K}$$

Koefisien tegangan rata-rata rangkaian paralel pada *thermoelectric*

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{0,874}{20} = 0,0437 \text{ V/K}$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{0,954}{30} = 0,0318 \text{ V/K}$$

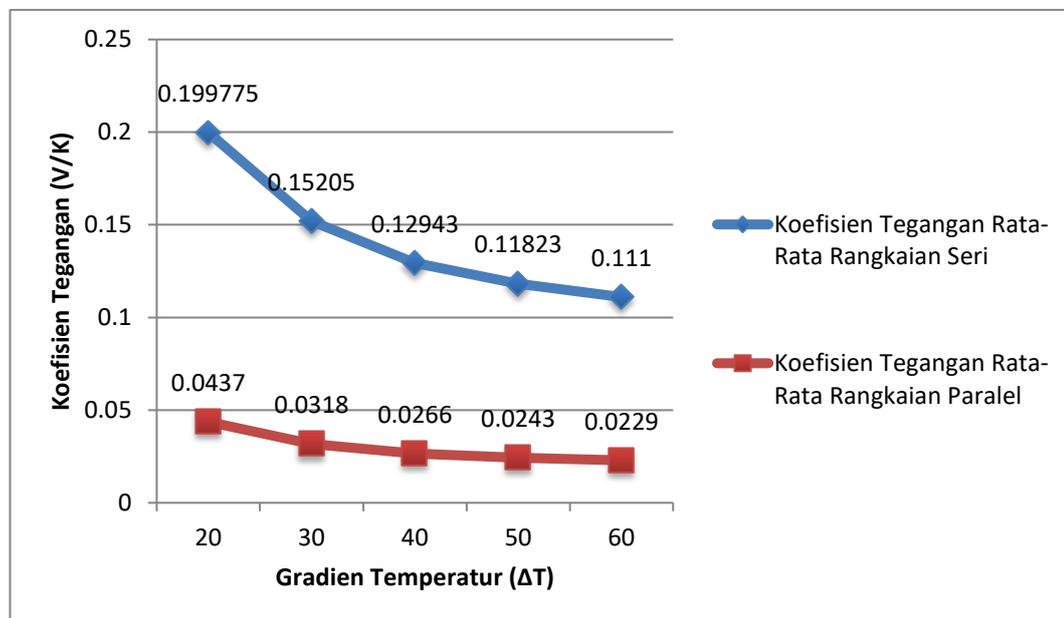
$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{1,067}{40} = 0,0266 \text{ V/K}$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{1,219}{50} = 0,02438 \text{ V/K}$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} = \frac{1,375}{60} = 0,0229 \text{ V/K}$$

Tabel 4.6 Koefisien Tegangan Rata-Rata

| No | Gradien Temperatur (ΔT) | Koefisien Tegangan Rata-Rata Rangkaian Seri (V/K) | Koefisien Tegangan Rata-Rata Rangkaian Paralel (V/K) |
|----|-----------------------------------|---|--|
| 1 | 20 | 0,199775 | 0,0437 |
| 2 | 30 | 0,15205 | 0,0318 |
| 3 | 40 | 0,12943 | 0,0266 |
| 4 | 50 | 0,11823 | 0,0243 |
| 5 | 60 | 0,111 | 0,0229 |



Grafik 4.6 Koefisien Tegangan Rata-Rata

Pada tabel 4.6 terlihat bahwa nilai koefisien tertinggi adalah 0,19975 V/K. Artinya setiap adanya perbedaan temperatur sebesar 1 K, maka akan menghasilkan nilai tegangan sebesar 0,19975.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. *Thermoelectric* dapat membangkitkan energi listrik dengan cara mengkonversinya dari energi panas pada exhaust menjadi sumber energi listrik yang dapat digunakan untuk keperluan seperti mencas handphone, menhidupkan lampu LED, dll.
2. Saat rangkaian berbeda akan terjadi perbedaan besar output, pada rangkaian paralel daya listrik yang dihasilkan lebih besar yaitu 1,924 Watt dibandingkan pada rangkaian seri yaitu sebesar 1,351 Watt .
3. Pengaruh suhu merupakan faktor paling penting dalam hal menghasilkan energi listrik, semakin besar gradien suhu (ΔT) pada *thermoelectric*, maka akan semakin besar energi listrik yang dihasilkan.
4. Nilai koefisien tertinggi adalah 0.19977 V/K, yang berarti setiap ada perbedaan suhu 1 derajat kelvin pada *thermoelectric*, maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 0,19977 Volt.

5.2 Saran

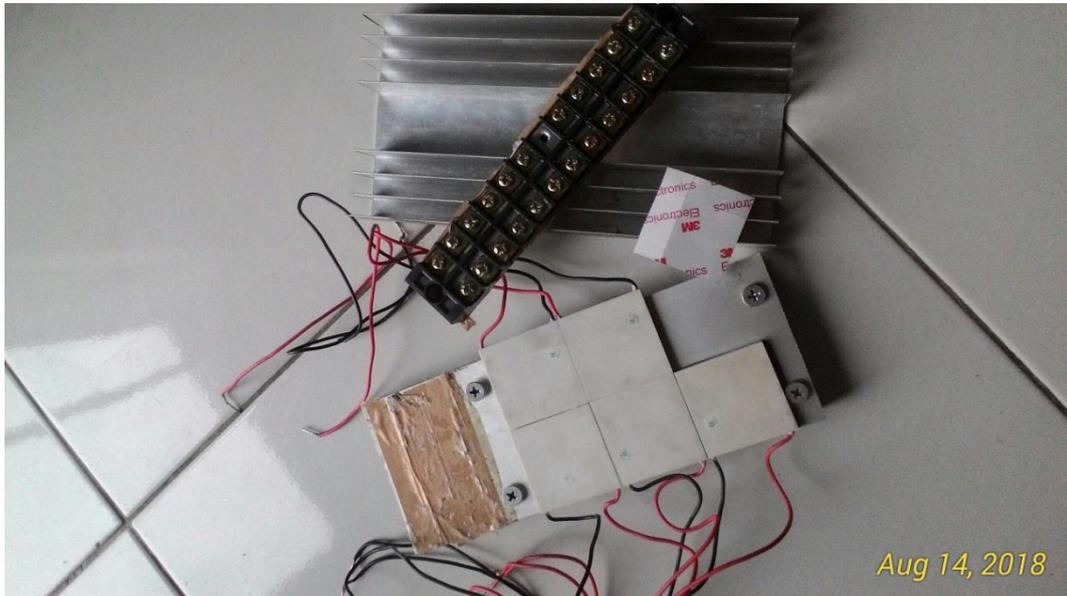
1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan mencari sumber energi panas yang lebih baik lagi.
2. Diharapkan untuk selanjutnya melakukan penelitian dalam keadaan sepeda motor sedang bergerak untuk mengetahui perbedaan besar output yang dihasilkan.

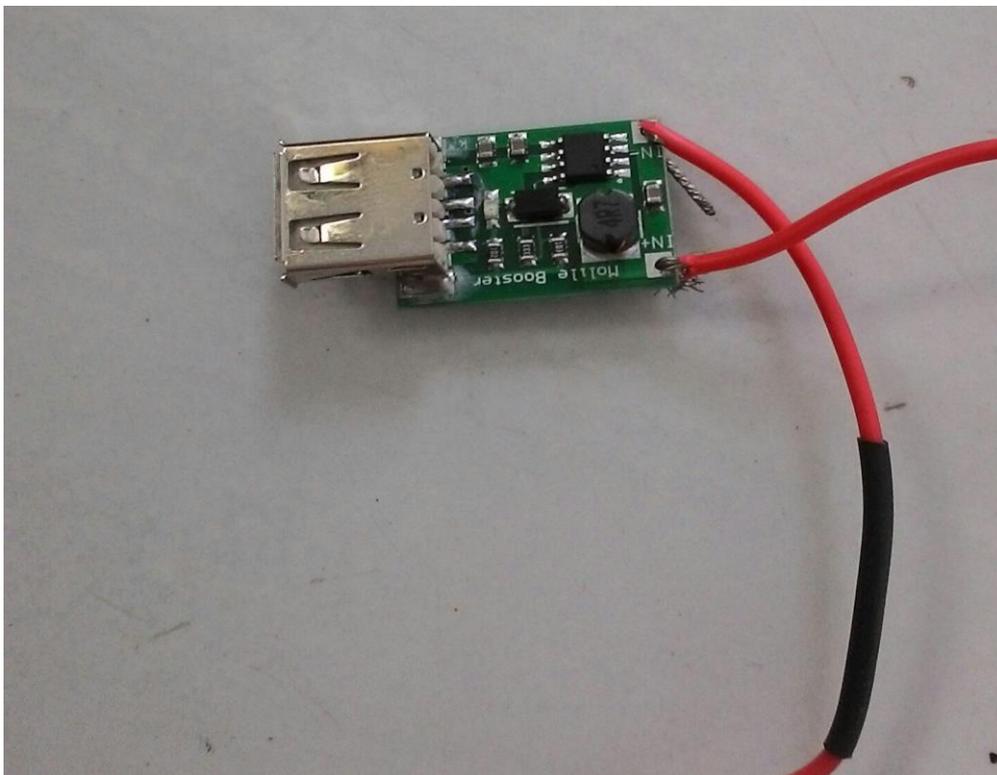
DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Vazquez, M. a Sanz-Bobi, R. Palacios, and A. Arenas, "State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles," *7th Eur. Work. Thermoelectr.*, vol. 17, 2002.
- [2] D. Rowe, "Thermoelectric waste heat recovery as a renewable energy source," *J. Innov. Energy Syst. Power*, vol. 1, pp. 13–23, 2006.
- [3] B. I. Ismail and W. H. Ahmed, "Thermoelectric Power Generation Using Waste - Heat Energy as an Alternative Green Technology," *Recent Patents Electr. Eng.*, vol. 2, pp. 27–39, 2009.
- [4] M. Setiawan, Andreas; Taryono; Ayub, "Prototipe Generator Termoelektrik Berbahan Bakar Gas the Design , Construction and Testing of a Gas-Fuelled Thermoelectric Generator Prototype," vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2012.
- [5] A. Tri Fadhila, "Simki-Techsain Vol. 01 No. 01 Tahun 2017 ISSN : XXXX-XXXX," *Simki-Techsin*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [6] H. Rafika, R. I. Mainil, and A. Aziz, "Kaji Eksperimental Pembangkit Listrik Berbasis Thermoelectric Generator (Teg) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 15, no. 1, pp. 7–11, 2016.
- [7] Y. Oktaviani and Astuti, "Sintesis Lapisan Tipis Semikonduktor Dengan Bahan Dasar Tembaga (Cu) Menggunakan Chemical Bath Deposition," *J. Fis. Unand Vol.*, vol. 3, no. 1, pp. 53–58, 2014.
- [8] M. Samsiana, Seta; Ilyas sikki, "Seta Samsiana & Muhammad Ilyas sikki

- Jurnal Imiah Teknik Mesin , Vol . 2 , No . 1 , Februari 2014 , Universitas Islam 45 , Bekasi,” vol. 2, no. 1, pp. 43–49, 2014.
- [9] N. Putra, R. A. Koestoer, M. Adhitya, A. Roekettino, and B. Trianto, “Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid,” *Makara Teknol.*, vol. 13, no. 2, pp. 53–58, 2009.
- [10] I. Supu, B. Usman, S. Basri, and Sunarmi, “Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas Pada Material Yang Berbeda,” *Dinamika*, vol. 7, no. 1, pp. 62–73, 2016.
- [11] Ekadewi Anggraini Handoyo, “Pengaruh Tebal Isolasi Termal Terhadap Efektivitas Plate Heat Exchanger,” *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 73–78, 2000.

LAMPIRAN





PEMANFAATAN PANAS *EXHAUST* SEPEDA MOTOR SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN *THERMOELECTRIC*

Yuwanda Efendi¹, Indra Roza², Faisal Irsan Pasaribu³

¹Mahasiswa Program Sarjana Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

^{2,3} Staf Pengajar dan Pembimbing Program Sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Abstrak

Penelitian ini berdasarkan pengamatan pada umumnya sekitar 30% energi utama pada sepeda motor terbuang sebagai limbah panas melalui gas buang (*exhaust*), yang mana energi panas tersebut dapat dimanfaatkan untuk diubah menjadi sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric*, alat ini dapat mengkonversi energi panas yang terbuang menjadi sumber energi listrik yang dapat digunakan, disini juga peneliti menganalisa rangkaian yang paling optimal dalam menghasilkan output tegangan, arus listrik dan daya listrik, dan juga mempelajari perubahan temperatur suhu panas terhadap output yang dihasilkan. Variable bebas yang divariasikan yaitu jenis rangkaian, waktu pengambilan data pada siang dan malam juga nilai koefisien dari *thermoelectric*. Dari semua data dan juga pengamatan yang telah dilakukan, bahwa temperatur menjadi faktor yang sangat berpengaruh dalam menghasilkan output tegangan dan arus listrik, semakin besar gradien suhu (ΔT) yang dihasilkan, maka akan semakin besar nilai output pada *thermoelectric*. Pada rangkaian paralel daya yang dihasilkan lebih besar yaitu 19,24 Watt namun tegangan yang dihasilkan lebih kecil yaitu 1,743 Volt, sedangkan pada rangkaian seri daya listrik yang dihasilkan sebesar 13,51 Watt namun nilai tegangannya lebih besar yaitu 6,69 Volt, dan nilai koefisien tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 0,19977 V/K. Temperatur exhaust 90°C dengan enam peltier terangkai paralel direkomendasikan pada sepeda motor untuk mendapatkan daya listrik paling optimal.

Kata kunci : *Thermoelectric*, efek *seebeck*, temperatur, jenis rangkaian

I. PENDAHULUAN

Penggunaan sepeda motor di Indonesia sudah menjadi hal yang umum. Hampir setiap rumah di Indonesia mempunyai sepeda motor, bahkan ada beberapa rumah yang memiliki lebih dari satu sepeda motor, dan setiap hari juga mereka menggunakannya untuk keperluan sehari-hari, baik untuk bekerja, berpergian atau pun hanya sekedar jalan-jalan saja. Namun penggunaan bahan bakar pada sepeda motor tidaklah sepenuhnya dapat digunakan, 30% bahan bakar tersebut terbuang menjadi limbah panas yang tentu cukup merugikan. Jika sekitar 6% dari panas gas buang ini dikonversi menjadi daya listrik, kurang lebih sama besar dengan *driving energy* yang digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar sekitar 10% [1]. Salah satu teknologi yang dapat mengkonversi limbah panas ini menjadi sumber energi listrik *thermoelectric* generator (TEG). Teknologi ini juga 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 untuk skala kecil dan lokasi terpencil, ramah lingkungan, dan sumber energi yang fleksibel. Kelebihan-kelebihan tersebut menyebabkan studi mengenai aplikasi *generator thermoelectric* banyak dilakukan [2].

Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan energi panas yang terbuang untuk dapat dikonversi menjadi sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric*, mengetahui besar energi yang dihasilkan saat rangkaian berbeda, mengetahui pengaruh suhu terhadap energi listrik yang dihasilkan dan menganalisa kenaikan tegangan pada setiap 1 derajat celsius.

- $Q_{cmax} - 62.2W$
- 1.7 Ohm resistance
- Max Operating Temp: $180^{\circ}C$
- Min Operating Temp: $- 50^{\circ}C$

2.4 Bahan Semikonduktor

Bahan semikonduktor sendiri merupakan elemen dasar dari komponen elektronika, seperti transistor, IC serta diode. Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor dengan besar energi gap $< 6 \text{ eV}$ [5]. Mengetahui karakteristik yang unik ini maka peran semikonduktor sangatlah penting dalam dunia elektronika, disebabkan konduktivitasnya yang dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut dengan doping). Semikonduktor sangat luas pemakaiannya, terutama sejak ditemukannya transistor pada akhir tahun 1940-an. Oleh karena itu semikonduktor dipelajari secara intensif dalam fisika zat padat. Namun dalam penelitian ini hanya akan membahas bahan semikonduktor *Thermoelectric* (Peltier) saja.

Bahan semikonduktor *Thermoelectric* bekerja dengan memanfaatkan efek peltier, yang merupakan kebalikan dari dari efek *Seebeck*. Efek peltier terjadi dimana jika dua logam yang berbeda disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor atau proses penyerapan panas dan pelepasan energi panas. Salah satu komponen elektronika yang bekerja menggunakan prinsip tersebut adalah modul peltier, sehingga dalam modul peltier akan terjadi dua kondisi di kedua sisi modul *thermoelectric* peltier dengan sisi panas untuk proses pelepasan panas dan kondisi dingin pada sisi penyerapan panas. Prinsip inilah yang digunakan *thermoelectric* sebagai pendingin/pompa kalor.

Semikonduktor adalah bahan pilihan untuk *thermoelectric* yang umum dipakai. Bahan semikonduktor *thermoelectric* yang paling sering digunakan saat ini adalah *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3) yang telah diolah untuk menghasilkan blok atau elemen yang memiliki karakteristik individu berbeda yaitu N dan P. Bahan *thermoelectric* lainnya termasuk *Timbal Telluride* ($PbTe$), *Silicon Germanium* ($SiGe$) dan *Bismuth-Antimony* ($SbBi$) adalah paduan bahan yang dapat digunakan dalam situasi

tertentu. Namun, *Bismuth Telluride* adalah bahan terbaik dalam hal pendinginan.

Bismuth Telluride memiliki dua karakteristik yang patut dicatat. Karena struktur kristal, *Bismuth Telluride* sangat anisotropik. Perilaku anisotropik perlawanan lebih besar daripada konduktivitas termalnya. Sehingga anisotropik ini dimanfaatkan untuk pendinginan yang optimal. Karakteristik lain yang menarik dari *Bismuth Telluride* adalah kristal *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3) terdiri dari lapisan heksagonal atom yang sama.

2.4 Sepeda Motor

Sepeda motor adalah kendaraan beroda dua yang digerakkan oleh sebuah mesin. Letak kedua roda sebaris lurus dan pada kecepatan tinggi sepeda motor tetap stabil disebabkan oleh gaya giroskopik. Sedangkan pada kecepatan rendah, kestabilan atau keseimbangan sepeda motor bergantung kepada pengaturan setang oleh pengendara. Penggunaan sepeda motor di Indonesia sangat populer karena harganya yang relatif murah, terjangkau untuk sebagian besar kalangan dan penggunaan bahan bakarnya serta biaya operasionalnya cukup hemat. Prinsip kerja motor bensin adalah mesin yang bekerja memanfaatkan energi dari hasil gas panas hasil proses pembakaran, dimana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja menjadi tenaga atau energi panas[6].

Pada sepeda motor terdapat exhaust atau biasa disebut juga knalpot, Terlebih pada kendaraan roda dua, part ini sangat kelihatan mencolok menjadi bagian sepeda motor. Dan untuk sekarang ini, knalpot memiliki sejumlah model dan bentuk yang beragam. Hal tersebut karena untuk mendapatkan dongkrakan tenaga dan juga tampilan. Namun diluar itu, sebenarnya seperti apa fungsi dari knalpot motor ini. Dari beberapa informasi yang berhasil dihimpun, ternyata knalpot memiliki banyak fungsi untuk sebuah sepeda motor

- a. Peredam suara mesin
 Karena mesin sepeda motor menggunakan teknologi kompresi atau meledakan bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga gerak.

Ledakan tersebut pastinya mengeluarkan suara yang cukup keras dan mengganggu. Untuk itu butuh komponen guna meredamnya yang disebut knalpot. Peredaman suaranya sendiri juga bervariasi, ada yang disetting dengan suara yang masih agak keras namun 'merdu'. Knalpot seperti ini biasanya digunakan untuk motor sport atau untuk balap. Sementara untuk peredaman yang sangat pelan, biasanya untuk motor standard pabrikan biasanya memiliki suara yang cukup pelan bahkan nyaris tidak terdengar.

- b. Meningkatkan tenaga mesin
Tidak dipungkiri karena knalpot sifatnya untuk meredam, jadi menghambat gas buang hasil pembakaran mesin. Peredaman tersebut menjadikan tenaga mesin berkurang. Namun dengan settingan yang pas dan perhitungan yang tepat, knalpot justru bisa jadi pendongkrak tenaga mesin sepeda motor. Untuk peredam gas buang yang bisa mendongkrak tenaga mesin sepeda motor ini biasanya disebut dengan knalpot racing. Dan biasanya memiliki raungan suara yang lebih keras dibandingkan dengan knalpot standard bawaan pabrikan.
- c. Mengurangi polusi udara
Untuk era sekarang ini teknologi terbaru knalpot sudah menggunakan catalytic converter yang berfungsi untuk membantu mengkonversi karbon yang keluar melalui gas buang kendaraan bermotor. Hal ini dapat membantu untuk meningkatkan efisiensi emisi gas buang yang dikeluarkan dan dapat mengurangi peningkatan dari polusi udara

Berdasarkan fungsinya, *exhaust* sendiri memiliki suhu panas yang dihasilkan oleh sisa pembakaran sepeda motor, energi panas inilah yang akan dimanfaatkan menjadi energi listrik menggunakan *thermoelectric*.

2.5 Heatsink

Heatsink ini merupakan logam dengan design yang khusus terbuat dari alumunium dan juga tembaga yang berfungsi untuk memperluas proses transfer panas dari sebuah prosesor. Komponen- komponen cpu yang biasanya dipakai untuk menyerap panas ini biasanya terbuat dari bahan aluminium yang biasanya banyak dipadukan dengan pemakaian fan pada heatsink untuk lebih mengoptimalkan penyerapan panas yaitu dengan mengalirkan panas dari heatsink ke luar cpu, proses ini akan menyebabkan meningkatnya performa kerja komputer. *Heatsink* digunakan untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. Potensi pembangkitan daya dari modul *thermoelectric* tunggal akan berbeda beda bergantung pada ukuran, konstruksi dan perbedaan temperturnya. Perbedaan temperatur yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar[7]

Pada peltier, heatsink digunakan untuk menyalurkan/menghantarkan panas ke permukaan sisi peltier, sehingga panas yang diperoleh menjadi maksimal dan juga merata, dan juga heatsink harus memiliki permukaan yang rata dan halus, sebab jika permukaan tidak rata maka suhu yang disalurkan tidak akan maksimal dan akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan nantinya. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi, biasanya heatsink dilapisi oleh pasta thermal, ini dilakukan agar suhu yang dikirimkan menjadi lebih maksimal dan efisien. Heatsink bisa kita dapatkan di toko-toko elektronik, biasanya dijual di toko onlinedengan harga yang bervariasi, tergantung dari ukuran dan juga kualitas heatsink tersebut.

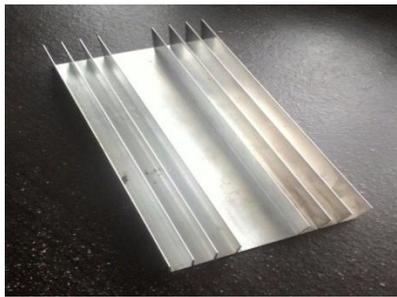


Gambar 4. Heatsink

2.7 Coldsink

Coldsink merupakan benda yang digunakan untuk mengurangi suhu panas

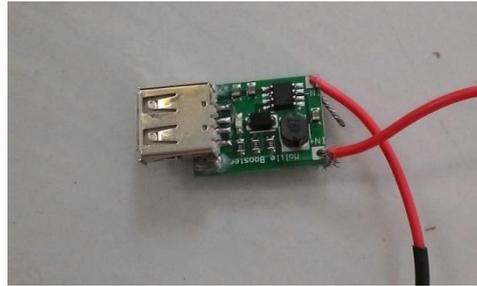
pada satu peralatan elektronik, umumnya ini digunakan pada IC, CPU dan juga peltier. *Coldsink* ini fungsinya hampir sama dengan *heatsink*, yaitu sama-sama menyerap suhu, bedanya adalah jika *heatsink* digunakan untuk menyalurkan panas ke peltier, namun *coldsink* digunakan untuk menurunkan atau bahkan menghilangkan suhu panas pada peltier. Hal ini dilakukan agar perbedaan suhu yang terjadi pada peltier tetap terjaga, agar energi listrik yang dihasilkan menjadi lebih optimal dan peltier tidak *overheat*, karena jika peltier terlalu panas akan menyebabkan kerusakan yang fatal, sehingga peltier tidak dapat digunakan kembali. Dalam penggunaannya, *coldsink* terkadang diberi tambahan berupa *fan* untuk memaksimalkan kinerja dari *coldsink* itu sendiri. Pada penggunaannya di penelitian ini *coldsink* juga diberikan pasta termal, tetap berbeda dengan dengan *heatsink*, disini *coldsink* menggunakan pasta termal yang mampu mengurangi suhu panas dari peltier.



Gambar 5. Coldsink

2.7 Boost Converter DC to DC

Boost Converter adalah sebuah teknik *Power supply switching Step-Up* yang merupakan konverter daya dari DC ke DC dengan tegangan output lebih besar dari tegangan input. Ini merupakan teknik *switched-mode power supply* (SMPS) yang mengandung setidaknya dua semikonduktor switching (dioda dan transistor) dan setidaknya satu elemen penyimpanan energy seperti kapasitor, induktor, atau kombinasinya. Filter biasanya terbuat dari kapasitor (namun kadang-kadang berada dalam kombinasi dengan induktor juga) biasanya ditambahkan untuk output *converter* sehingga dapat mengurangi riak tegangan output.



Gambar 6. Boost Converter

Pada peltier alat ini berfungsi untuk menaikkan tegangan menjadi 5 volt. Saat peltier menghasilkan energi listrik, maka alat akan secara otomatis menaikkan tegangannya menjadi 5 volt, namun tegangan yg di input minimal harus mencapai 0,9 volt ataupun 2 volt, tergantung dari jenis booster yang digunakan. Alat ini juga memiliki batasan maksimal arus yang bisa diterima, yaitu 600 mA untuk *booster* yang minimal tegangannya 0,9 volt, dan 1200 mA untuk tegangan 2 volt. Setelah nilai tegangan dinaikkan menjadi 5 volt, nantinya akan digunakan untuk mencharge handphone ataupun yang lainnya, dan kecepatan mengisi daya pada alat handphone tergantung dari besar arus yang dihasilkan, semakin besar arus yang dihasilkan maka akan semakin cepat daya terisi.

2.6 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas konduksi, dimana proses perpindahan panas terjadi antara benda atau partikel-partikel yang berkontak langsung melekat satu dengan yang lainnya, tidak ada pergerakan relatif diantara benda-benda tersebut. Misalnya panas yang berpindah di dalam sebuah batang logam akibat pemanasan salah satu ujungnya seperti terlihat pada gambar, ujung A menjadi naik temperaturnya walaupun yang dipanasi ujungnya adalah ujung B. Gambar menunjukkan prinsip dari laju perpindahan panas konduksi pada dinding pelat.

Panas mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan panas dinyatakan dengan hukum Fourier.

$$q_k = k \frac{A}{L} (T_1 - T_2) \quad (2)$$

2.7 Rangkaian Seri

Pada dasarnya, Baterai dapat dirangkai secara Seri maupun Paralel. Tetapi hasil Output dari kedua Rangkaian tersebut akan berbeda. Rangkaian Seri Baterai akan meningkatkan Tegangan (Voltage) Output Baterai sedangkan Current/Arus Listriknya (Ampere) akan tetap sama. Hal ini Berbeda dengan Rangkaian Paralel Baterai yang akan meningkatkan Current/Arus Listrik (Ampere) tetapi Tegangan (Voltage) Outputnya akan tetap sama.

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (3)$$

2.8 Rangkaian Paralel

Berbeda dengan rangkaian seri yang disusun secara sejajar atau berurutan, pada rangkaian paralel ini rangkaian tidak disusun secara sejajar. Dengan kata lain pada input setiap komponen semuanya berasal dari sumber yang sama. Salah satu contoh dari rangkaian paralel ini yaitu lampu lalu lintas.

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (4)$$

2.9 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Rumus umum yang digunakan untuk menghitung Daya Listrik dalam sebuah Rangkaian Listrik adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \quad (5)$$

III. METODE PENELITIAN

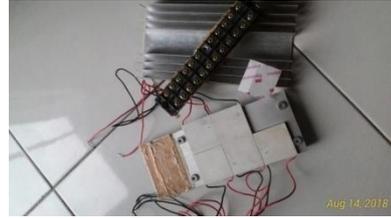
Dalam pembuatan alat pemanfaatan panas *exhaust* sepeda motor sebagai sumber energi listrik menggunakan *thermoelectric* bahan dan peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan yang digunakan :

- Enam buah *thermoelectric*
- Heatsink ukuran 20 x 7 cm
- Kertas thermal
- Sepeda motor 110 cc
- Coldsink ukuran 19 x 10 cm
- Klem 2 buah

Peralatan yang digunakan :

- Multimeter digital
- Bor
- Thermometer
- Obeng



Gambar 7. Bahan Penelitian

Untuk membuat pembangkit energi listrik menggunakan *thermoelectric* alat dan bahan sudah dijelaskan. Kemudian alat dan bahan tersebut dirangkai dengan cara seperti berikut :

- a. Membuat empat lubang pada sisi kanan dan kiri *Heatsink* sebagai tempat memasukkan baut
- b. Memberikan atau memasang kertas *thermal* pada *thermoelectric* yang berguna untuk menempelkannya ke *heatsink*
- c. Memasang *thermoelectric* pada permukaan *heatsink*, yang mana sudah diberi kertas *thermal* agar *thermoelectric* menempel dengan baik dan tidak mudah lepas.
- d. Memasang terminal kabel di bagian tepi *heatsink*.
- e. Masukan kabel-kabel *thermoelectric* ke slot terminal sesuai dengan rangkaian yang digunakan. Rangkaian yang digunakan disini ada dua yaitu seri dan paralel.
- f. Setelah cara ke 1 sampai ke 5 telah dilakukan, maka selanjutnya bahan yang sudah terangkai tadi dipasang ke *exhaust* (knalpot) sepeda motor menggunakan klem dan baut seperti yang terlihat pada gambar 8

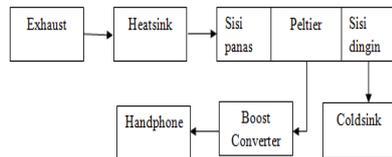


Gambar 8. Alat yang sudah terpasang

Dalam penelitian ini, pengujian dibagi dalam beberapa metode dan juga waktu berbeda. Ada beberapa metode yang perlu dilakukan dalam pengujian alat, hal ini dilakukan untuk mengetahui metode mana yang paling baik untuk mendapat hasil yang paling optimal dalam menghasilkan energi listrik :

1. Pengujian dilakukan dengan variasi rangkaian yaitu: seri dan paralel
2. Pengujian dilakukan saat siang hari dan malam hari
3. Pengujian dilakukan dengan variasi temperatur yaitu 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C dengan suhu coldsink 30 °C disetiap variasinya.

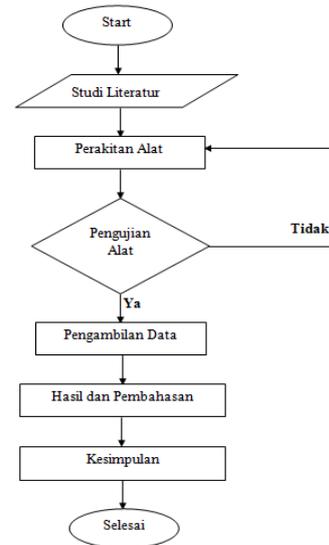
Berikut ini adalah blok diagram dari penelitian yang telah dilakukan



Gambar 9. Blok Diagram

Saat sepeda motor dinyalakan maka akan menghasilkan energi panas pada bagian mesinnya, terutama pada bagian exhaust/knalpotnya. Exhaust akan mengirimkan panas ke heatsink secara konduksi yang akan membuat heatsink mengalami perubahan suhu/ kenaikan suhu. Setelah heatsink menjadi panas, maka sisi peltier yang telah ditempelkan pada permukaan heatsink akan terjadi perubahan suhu juga yaitu menjadi panas, saat sisi peltier mengalami perubahan temperatur suhu maka akan mengasilkan output tegangan maupun arus listrik, namun output yang dihasilkan tidak akan maksimal karena hanya ada sedikit gradien suhu yang terjadi pada peltier, maka untuk itu dipasang coldsink untuk mendinginkan sisi yang lain pada peltier, agar gradien temperatur yang dihasilkan menjadi lebih besar, sehingga output yang dihasilkan menjadi lebih maksimal. Setelah output yang dihasilkan telah maksimal boost converter akan menaikkan tegangan yang akan digunakan untuk mencas handphone.

Disini juga peneliti membuat diagram alir dari penelitian ini, yaitu seperti berikut



Gambar 10. Diagram Alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

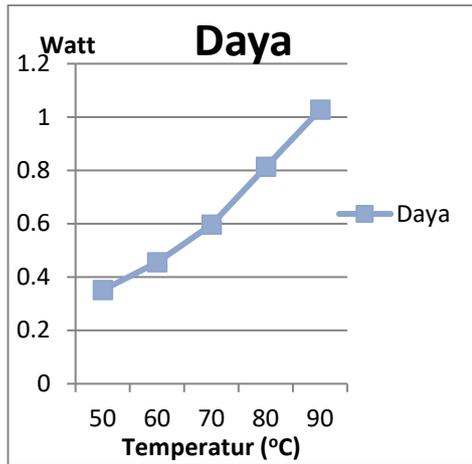
Pengujian dilakukan dengan menggunakan 6 buah peltier yang dirangkai secara seri dan paralel. Pengujian dilakukan dalam 2 waktu, yaitu pada saat siang hari dan juga malam hari. Temperatur Coldsink yang digunakan sebesar 30°C dan waktu yang digunakan selama 10 detik.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil seperti berikut:

Tabel 1. Data Output R.Seri Siang Hari

| No | TH | Volt | Ampere | Watt |
|----|----|-------|--------|--------|
| 1 | 50 | 3,897 | 0,090 | 0,3507 |
| 2 | 60 | 4,422 | 0,103 | 0,4554 |
| 3 | 70 | 5,055 | 0,118 | 0,5964 |
| 4 | 80 | 5,689 | 0,143 | 0,8135 |
| 5 | 90 | 6,630 | 0,155 | 1,0276 |

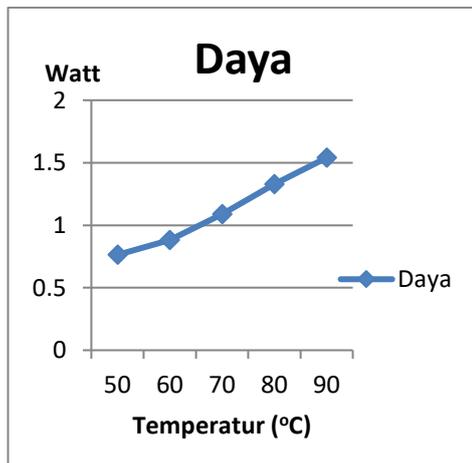
Pada tabel 1 terlihat bahwa semakin tinggi suhu yang diberikan, maka akan semakin besar nilai output yang dihasilkan, adapun grafik data tersebut adalah sebagai berikut:



Grafik 1. Temperatur Terhadap Daya R. Seri Saat Siang Hari

Tabel 2. Data R.Paralel Siang Hari

| No | TH | Volt | Ampere | Watt |
|----|----|-------|--------|-------|
| 1 | 50 | 0,891 | 0,857 | 0,763 |
| 2 | 60 | 0,925 | 0,953 | 0,881 |
| 3 | 70 | 1,052 | 1,036 | 1,089 |
| 4 | 80 | 1,149 | 1,157 | 1,329 |
| 5 | 90 | 1,277 | 1,206 | 1,54 |



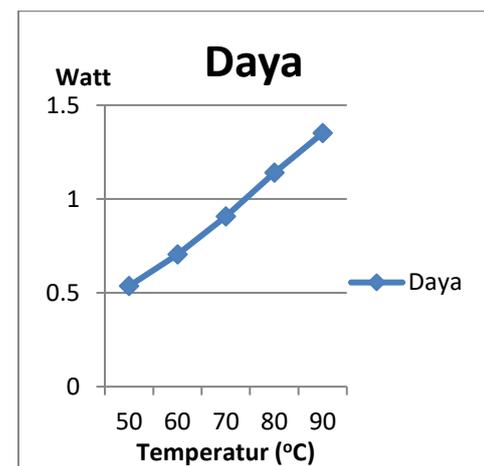
Grafik 2. Temperatur Terhadap Daya R.Paralel Saat Siang Hari

Pada percobaan pertama saat siang hari, rangkaian seri menjadi rangkaian yang paling optimal dalam menghasilkan tegangan listrik namun rendah dalam hal daya listrik seperti yang terlihat pada tabel 1, sedangkan rangkaian paralel menjadi yang

paling optimal dalam menghasilkan arus listrik sehingga membuat daya listrik yang dihasilkan menjadi lebih besar seperti yang terlihat pada tabel 2. Hal ini terjadi karena rangkaian seri bisa menaikkan tegangan dengan semakin banyaknya sumber listrik yang ada, namun arus listrik yang ada akan bernilai tetap. Sebaliknya pada rangkaian paralel arus listrik menjadi lebih tinggi karena pada rangkaian ini arus listrik dilipat gandakan sesuai dengan banyaknya sumber listrik yang dirangkai. Pada percobaan pertama ini juga dapat kita lihat bahwa temperatur menjadi faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya output yang dihasilkan oleh *thermoelectric*, semakin besar *gradien* temperatur yang dihasilkan (ΔT), maka akan semakin besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh *thermoelectric*.

Tabel 3. Data R.Seri Malam Hari

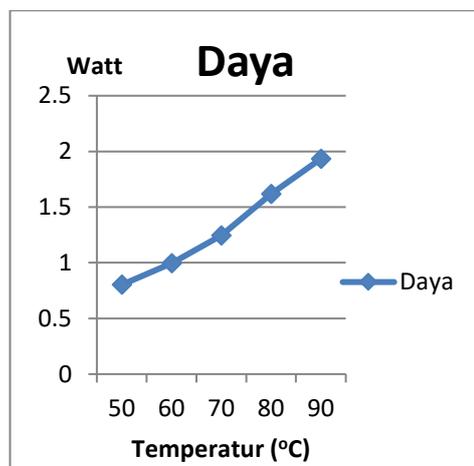
| No | TH | Volt | Ampere | Watt |
|----|----|-------|--------|-------|
| 1 | 50 | 4,094 | 0,131 | 0,536 |
| 2 | 60 | 4,701 | 0,150 | 0,705 |
| 3 | 70 | 5,300 | 0,171 | 0,906 |
| 4 | 80 | 6,134 | 0,186 | 1,140 |
| 5 | 90 | 6,690 | 0,202 | 1,351 |



Grafik 3. Temperatur Terhadap Daya R.Seri Saat Malam Hari

Tabel 4. Data R.Paralel Saat Malam

| No | TH | Volt | Ampere | Watt |
|----|----|-------|--------|-------|
| 1 | 50 | 0,857 | 0,936 | 0,802 |
| 2 | 60 | 0,983 | 1,013 | 0,995 |
| 3 | 70 | 1,082 | 1,152 | 1,246 |
| 4 | 80 | 1,289 | 1,256 | 1,618 |
| 5 | 90 | 1,473 | 1,313 | 1,934 |



Grafik 4. Temperatur Terhadap Daya R.Paralel Saat Malam Hari

Pada percobaan kedua, penelitian dilakukan saat malam hari. Rangkaian seri tetap menjadi rangkaian yang paling optimal dalam menghasilkan tegangan listrik dan rangkaian paralel menghasilkan arus listrik dan daya listrik yang paling optimal, hal ini dapat kita lihat pada tabel 3 dan tabel 4. Output yang dihasilkan pada percobaan ini sedikit lebih besar dibandingkan saat siang hari, faktor suhu lingkungan menjadi pembeda pada percobaan kedua ini. Suhu lingkungan yang lebih rendah saat malam hari menjadikan temperatur coldsink menjadi lebih dingin sehingga gradien suhu yang dihasilkan menjadi lebih besar, yang otomatis membuat output tegangan dan arus listrik menjadi lebih tinggi. Seperti halnya pada percobaan yang pertama, faktor temperatur menjadi hal yang utama dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik.

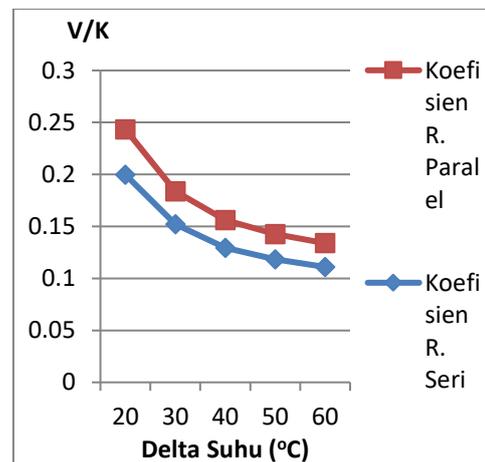
Dari dua percobaan yang telah dilakukan, terlihat bahwa faktor suhu dan jenis rangkaian sangat mempengaruhi besar

output yang dihasilkan. Pada rangkaian seri besar tegangan menjadi yang paling dominan, sedangkan pada rangkaian paralel nilai arus dan daya listrik lebih besar dibanding rangkaian seri. Hal ini terjadi karena pada rangkaian seri jika jumlah sumber tegangannya ditambah maka akan membuat nilai tegangannya semakin besar, namun pada rangkaian paralel tegangan tidak akan berubah terlalu besar bahkan bisa tetap karena pada rangkaian ini nilai arus yang akan semakin besar sesuai dengan prinsip yang ada pada baterai.

Dari data-data yang telah disampaikan, maka akan didapatkan nilai koefisien dari thermoelectric, berikut adalah data nilai koefisien yang telah didapatkan

Tabel 5. Koefisien Thermoelectric

| No | ΔT | Koefisien R. Seri (V/K) | Koefisien R. Paralel (V/K) |
|----|------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 20 | 0,199775 | 0,0437 |
| 2 | 30 | 0,15205 | 0,0318 |
| 3 | 40 | 0,12943 | 0,0266 |
| 4 | 50 | 0,11823 | 0,0243 |
| 5 | 60 | 0,111 | 0,0229 |



Grafik 5. Koefisien Thermoelectric

Pada tabel 5 terlihat bahwa nilai koefisien tertinggi adalah 0,199775 V/K, ini berarti setiap ada perbedaan suhu sebesar 1 Kelvin, maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 0,199775 Volt

KESIMPULAN

1. *Thermoelectric* dapat membangkitkan energi listrik dengan cara mengkonversinya dari energi panas pada exhaust menjadi sumber energi listrik yang dapat digunakan untuk keperluan seperti mencas handphone, menghidupkan lampu LED, dll.
2. Saat rangkaian berbeda akan terjadi perbedaan besar output, pada rangkaian paralel daya listrik yang dihasilkan lebih besar yaitu 1,924 Watt dibandingkan pada rangkaian seri yaitu sebesar 1,351 Watt.
3. Pengaruh suhu merupakan faktor paling penting dalam hal menghasilkan energi listrik, semakin besar gradien suhu (ΔT) pada *thermoelectric*, maka akan semakin besar energi listrik yang dihasilkan.
4. Nilai koefisien tertinggi adalah 0.19977 V/K, yang berarti setiap ada perbedaan suhu 1 derajat kelvin pada *thermoelectric*, maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 0,19977 Volt.

SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan mencari sumber energi panas yang lebih baik lagi.
2. Diharapkan untuk selanjutnya melakukan penelitian dalam keadaan sepeda motor sedang bergerak untuk mengetahui perbedaan besar output yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Vazquez, M. a Sanz-Bobi, R. Palacios, and A. Arenas, "State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles," *7th Eur. Work. Thermoelectr.*, vol. 17, 2002.
- [2] B. I. Ismail and W. H. Ahmed, "Thermoelectric Power Generation Using Waste - Heat Energy as an Alternative Green Technology," *Recent Patents Electr. Eng.*, vol. 2, pp. 27–39, 2009.
- [3] M. Setiawan, Andreas; Taryono; Ayub, "Prototipe Generator Termoelektrik Berbahan Bakar Gas the Design , Construction and Testing of a Gas-Fuelled Thermoelectric Generator Prototype," vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2012.
- [4] A. Tri Fadhila, "Simki-Techsain Vol. 01 No. 01 Tahun 2017 ISSN : XXXX-XXXX," *Simki-Techsain*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [5] Y. Oktaviani and Astuti, "Sintesis Lapisan Tipis Semikonduktor Dengan Bahan Dasar Tembaga (Cu) Menggunakan Chemical Bath Deposition," *J. Fis. Unand Vol.*, vol. 3, no. 1, pp. 53–58, 2014.
- [6] M. Samsiana, Seta; Ilyas sikki, "Seta Samsiana & Muhammad Ilyas sikki Jurnal Imiah Teknik Mesin , Vol . 2 , No . 1 , Februari 2014 , Universitas Islam 45 , Bekasi," vol. 2, no. 1, pp. 43–49, 2014.
- [7] N. Putra, R. A. Koestoer, M. Adhitya, A. Roekettino, and B. Trianto, "Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid," *Makara Teknol.*, vol. 13, no. 2, pp. 53–58, 2009.