

**ANALISA PENGARUH JUMLAH DAN SUSUNAN TERMOELEKTRIK
GENERATOR TERHADAP KARAKTERISTIK TERMOELEKTRIK
GENERATOR PADA MOTOR BENSIN 4 CYLINDER**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH:

BASTANTA OKTAVIANUS ZEGA
15.331.0625

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

**ANALISA PENGARUH JUMLAH DAN SUSUNAN TERMoeLEKTRIK
GENERATOR TERHADAP KARAKTERISTIK TERMoeLEKTRIK GENERATOR
PADA MOTOR BENSIN 4 CYLINDER**

Bastanta Oktavianus Zega dan Sehat Abdi Saragih

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

Jln, Kaharuddin Nasution No. 133 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

E-mail : bastantaoktavianus08@student.uir.ac.id

Abstrak

Motor bakar merupakan alat yang digunakan sebagai tenaga penggerak, setiap motor bakar tidak memanfaatkan semua energi panas yang dihasilkan untuk menggerakkan mesin dan panas tersebut terbuang sia-sia melalui *exhaust manifold*. Oleh sebab itu, diperlukan suatu cara agar energi panas yang terbuang dari *exhaust manifold* tersebut dapat dimanfaatkan. Salah satu cara tersebut adalah dengan merubah energi panas yang berada di *exhaust manifold* menjadi energi listrik dengan menggunakan termoelektrik generator. Tujuannya yaitu untuk mendapatkan pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik generator terhadap karakteristik termoelektrik generator. Untuk mengetahui karakteristik termoelektrik generator tersebut, dilakukan secara eksperimental, yaitu menguji termoelektrik generator pada tiga variasi jumlah termoelektrik generator dan variasi susunan termoelektrik generator, termoelektrik generator ditempelkan pada dinding exhaust manifold. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan, daya, koefisien seebeck, hasil pengecasan, dan efisiensi generator tertinggi didapatkan pada termoelektrik generator susunan seri dengan jumlah 12 buah. Susunan seri dengan 12 buah termoelektrik generator menghasilkan tegangan sebesar 6,127 (V), daya sebesar 5,76 (W), koefisien seebeck sebesar 0,220 (V/K), hasil pengecasan sebesar 9 (%), dan efisiensi generator sebesar 2,21 (%). Semakin besar perbedaan suhu (ΔT) antar sisi panas dan sisi dingin pada termoelektrik generator, maka energi yang dihasilkan semakin besar.

Kata kunci: motor bakar, termoelektrik generator, perbedaan temperatur

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF GENERATOR THERMOELECTRIC ORDER ON
GENERATOR THERMOELECTRIC CHARACTERISTICS IN 4 CYLINDER
GASOLINE MOTOR**

Bastanta Oktavianus Zega and Sehat Abdi Saragih
Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Riau Islamic
University

Street, Kaharuddin Nasution No. 133 Stop Marpoan, Pekanbaru

E-mail : bastantaoktavianus08@student.uir.ac.id

Abstract

The combustion motor is a device that is used as a driving force, each combustion motor does not use all of the heat energy generated to drive the engine and the heat is wasted through the exhaust manifold. Therefore, we need a way so that the heat energy wasted from the exhaust manifold can be utilized. One of these methods is to convert the heat energy in the exhaust manifold into electrical energy using a thermoelectric generator. The aim is to determine the effect of the number and arrangement of the thermoelectric generators on the thermoelectric characteristics of the generator. This research method is carried out experimentally, namely testing the thermoelectric generator on three variations of the number of thermoelectric generators and variations in the arrangement of the thermoelectric generator and the thermoelectric generator affixed to the exhaust manifold wall. The results showed that the highest voltage, power, seebeck coefficient, charging results, and generator efficiency were found in the thermoelectric generator series with a total of 12 units. The series arrangement with 12 thermoelectric generators produces a voltage of 6.127 (V), a power of 5.76 (W), a seebeck coefficient of 0.220 (V / K), a charge of 9 (%), and a generator efficiency of 2.21 (%). The greater the temperature difference (ΔT) between the hot and cold sides of the thermoelectric generator, the greater the energy produced.

Key words: combustion motor, thermoelectric generator, temperature difference

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas seluruh rahmat dan anugerahNya kepada kita semua, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisa Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Karakteristik Termoelektrik *Generator* Pada Motor Bensin 4 *Cylinder*”**.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan akademis dalam rangka meraih gelar keserjanaan di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, banyak petunjuk dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dan memberikan waktunya dalam membimbing untuk menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu mendoakan serta mendukung dalam dana untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc, selaku ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Bapak Sehat Abdi Saragih, ST., MT, selaku dosen pembimbing atas segala arahan, kesabaran dan waktunya yang diberikan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen di Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Abang saya David Efrata Zega, kakak saya Hetti Purnama Sari Zega, SE, dan adikku April Mawar Sari Zega yang mendoakan dan mendukung saya.

6. Esther Grace Vaulina H yang selalu menemani dan memberi semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Serta seluruh teman-teman di Fakultas Teknik Mesin Universitas Islam Riau angkatan 2015 dan kepada seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung dalam membantu dan memberikan kontribusinya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran dari berbagai pihak. Sehingga pada penulisan yang akan datang penulis dapat menyelesaikannya dengan lebih baik lagi dan semoga penulisan ini dapat bermanfaat bagi yang membaca dan memerlukannya.

Pekanbaru, Januari 2021

Penulis

Bastanta Oktavianus Zega

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Termoelektrik <i>Generator</i>	5
2.1.1 Efek Seebeck	9
2.1.2 Efek Peltier	10
2.1.3 Efek Thomson	11
2.2 Konstruksi Termoelektrik <i>Generator</i>	12

2.2.1 Jumlah Termoelektrik <i>Generator</i>	13
2.2.2 Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	13
2.2.3 Spesifikasi Termoelektrik <i>Generator</i>	15
2.3 Bahan Semikonduktor	17
2.4 <i>Heatsink</i> Dan <i>Coldsink</i>	18
2.4.1 <i>Heatsink</i>	18
2.4.2 <i>Coldsink</i>	19
2.5 Panas	20
2.5.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi	21
2.5.2 Kalor Jenis	22
2.6 Rangkaian Listrik	22
2.7 Tenaga Listrik	23
2.8 Motor Bakar	23
2.9 Klasifikasi Motor Bakar	25
2.10 Prinsip Kerja Motor Bakar Bensin 4 Langkah	25
2.11 Boost Converter/ DC to DC Converter	28
2.12 Panas <i>Exhaust Manifold</i>	29
2.13 Karakteristik Termoelektrik	30
2.13.1 Koefisien Seebeck	31

2.13.2 Tahanan Listrik Modul Termoelektrik	31
2.13.3 Konduktansi Termal Modul	32
2.13.4 Total Modul NT	33
2.13.5 Total Energi Panas Masuk Ke Generator Q_H Dalam Watt	33
2.13.6 Efisiensi Generator (η_G)	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Waktu Dan Tempat	35
3.2 Diagram Alir	36
3.3 Alat Dan Bahan	37
3.3.1 Alat	37
3.3.2 Bahan	43
3.4 Persiapan Pengujian	43
3.5 Prosedur Pengujian	43
3.5.1 Prosedur Pengujian Termoelektrik <i>Generator</i> Dengan Susunan Paralel	43
3.5.2 Prosedur Pengujian Termoelektrik <i>Generator</i> Dengan Susunan Seri	45
3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian	45

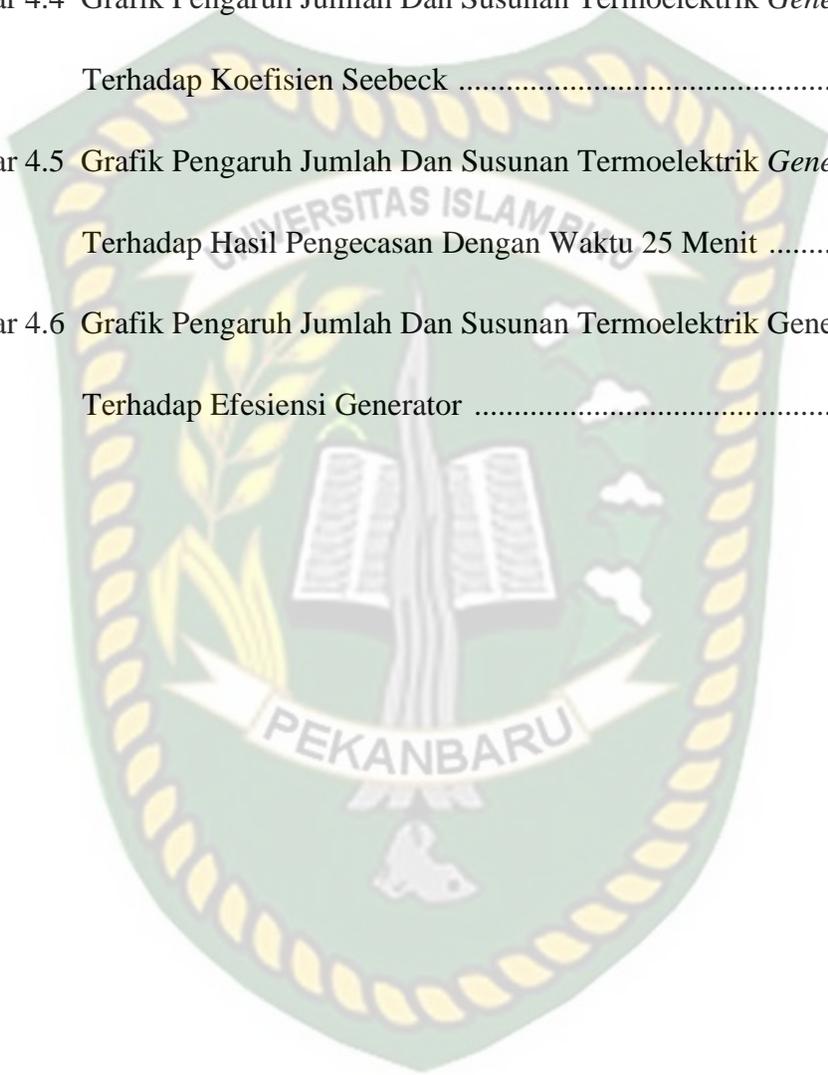
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Tegangan	46
4.2 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Arus	48
4.3 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Daya	50
4.4 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Koefisien Seebeck	52
4.5 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Hasil Pengecasan Dengan Waktu 25 Menit	53
4.6 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Efisiensi <i>Generator</i>	56
BAB V PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Efek Seebeck	6
Gambar 2.2	Skema Efek Seebeck Pada Suatu Bahan	10
Gambar 2.3	Skema Efek Peltier Pada Suatu Bahan	11
Gambar 2.4	Pita Konduksi dan Pita Valensi Pada <i>electron</i>	12
Gambar 2.5	Penampang Termoelektrik	13
Gambar 2.6	Susunan Paralel	14
Gambar 2.7	Susunan Seri	15
Gambar 2.8	Pemasangan Modul TEG	15
Gambar 2.9	Bentuk Termoelektrik Yang Ada Dipasaran	16
Gambar 2.10	Arti Tulisan Pada Termolektrik	16
Gambar 2.11	<i>Heatsink</i>	19
Gambar 2.12	<i>Coldsink</i>	20
Gambar 2.13	Perpindahan Panas Secara Konduksi	21
Gambar 2.14	Rangkaian Listrik	22
Gambar 2.15	Komponen Motor Bakar	24
Gambar 2.16	Proses Kerja Motor Bakar 4 Langkah	26
Gambar 2.17	Langkah Isap	26
Gambar 2.18	Langkah Kompresi	27

Gambar 2.19 Langkah Kerja	27
Gambar 2.20 Langkah Buang	28
Gambar 2.21 Boost Converter/ DC to DC Converter	29
Gambar 3.1 <i>Workshop</i> Teknik Mesin UIR	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.3 Mesin Uji	37
Gambar 3.4 Termoelektrik Generator Terpasang Pada Knalpot Mesin Uji	38
Gambar 3.5 Termoelektrik <i>Generator</i>	39
Gambar 3.6 Blower	39
Gambar 3.7 Heatsink	40
Gambar 3.8 Termometer Digital	41
Gambar 3.9 <i>Stopwatch</i>	41
Gambar 3.10 <i>Multitester</i>	42
Gambar 3.11 <i>Tachometer</i>	42
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Tegangan.....	47
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Arus	49

Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Daya	51
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Koefisien Seebeck	53
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Hasil Pengecasan Dengan Waktu 25 Menit	55
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i>	
Terhadap Efisiensi <i>Generator</i>	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Seebeck Mutlak Pada Material Logam Dan Semikonduktor	8
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	45
Tabel 4.1 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Tegangan	46
Tabel 4.2 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Arus	48
Tabel 4.3 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Daya	50
Tabel 4.4 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Koefisien Seebeck	52
Tabel 4.5 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Hasil Pengecasan Dengan Waktu 25 Menit	54
Tabel 4.6 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik <i>Generator</i> Terhadap Efisiensi <i>Generator</i>	56

DAFTAR NOTASI

<u>Notasi</u>	<u>Simbol</u>	<u>Satuan</u>
Temperatur sisi panas	T_H	(K)
Temperatur sisi dingin	T	(K)
Total modul	N_T	
Modul seri	N_S	
Modul paralel	N_P	
Arus keluaran generator	I	(A)
Tegangan keluaran generator	V_o	(V)
Daya keluaran generator	P_o	(W)
Total energi panas masuk ke generator dalam Watt	Q_H	(W)
Selisih suhu sisi panas dan sisi dingin termoelektrik	DT	($^{\circ}C$)
Koefisien <i>Seebeck</i>	S_M	(V/K)
Koefisien <i>Seebeck</i> modul pada sisi panas T_H	S_{MTH}	(V/K)
Koefisien <i>Seebeck</i> modul pada sisi dingin T_C	S_{MTC}	(V/K)
Koefisien <i>Seebeck</i> untuk modul yang baru	S_{new}	(V/K)
Koefisien <i>Seebeck</i> untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 A	s	
Tahanan listrik modul	R_M	(ohm)
Tahanan listrik modul pada sisi panas T_H	R_{MTH}	(ohm)
Tahanan listrik modul pada sisi dingin T_C	R_{MTC}	(ohm)
Tahanan listrik untuk modul yang baru	R_{new}	(ohm)
Koefisien tahanan listrik untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 A	r	
Konduktansi termal modul	K_M	(W/ $m^{\circ}C$)
Konduktansi termal modul pada sisi panas T_H	K_{MTH}	(W/ $m^{\circ}C$)

Konduktansi termal modul pada sisi dingin T_c	K_{MTC}	(W/m°C)
Konduktansi termal untuk modul yang baru	K_{new}	(W/m°C)
Koefisien konduktansi termal untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 A	K	
Jumlah pasangan semikonduktor untuk modul yang baru	N_{new}	
Arus optimum atau maksimum modul yang baru	I_{new}	(A)
Temperatur sekitar	T_a	(K)
Efisiensi generator	η_g	(%)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman yang semakin maju saat ini, sudah banyak alat transportasi yang dapat membantu seseorang bepergian dari satu tempat ketempat lain dengan jarak waktu tempuh yang cepat. Salah satunya adalah alat transportasi sepeda motor dan mobil. Kendaraan bermotor dan mobil merupakan satu wujud barang sebagai salah satu jenis transportasi yang banyak digunakan oleh masyarakat saat ini yang semakin hari semakin meningkat jumlahnya (Wisnu Adi Nugroho dkk, 2015). Akibatnya kebutuhan sumber energi bahan bakar fosil semakin meningkat. Bahan bakar sangatlah penting karena sebagai sumber tenaga untuk mesin dapat bergerak. Bahan bakar juga memiliki banyak jenis dari padat, cair, dan gas. Dimana bahan bakar cair mempunyai banyak macam yaitu premium, pertalite, pertamax, pertamax turbo dan lain-lain yang bentuk fisiknya liquid. Bahan bakar bensin terbentuk dari penyulingan atau destilasi dari turunan minyak bumi serta di setiap bahan bakar pasti memiliki nilai panas (kalor) yang berbeda-beda, yang akan menyebabkan proses pembakaran tidak ideal karena dari kualitas bahan bakar yang rendah akan berdampak meningkatnya konsentrasi pencemaran udara di lingkungan sekitar (Wahyudi, 2019).

Motor bakar merupakan alat yang digunakan sebagai tenaga penggerak, setiap motor bakar tidak memanfaatkan semua energi panas yang dihasilkan untuk menggerakkan mesin. Pada motor bensin 4 *cylinder* ,panas *efisien* yang digunakan untuk menggerakkan motor adalah 15% sampai dengan 30% dari hasil pembakaran pada ruang bakar. Sekitar 40% lebih panas hasil pembakaran tersebut terbuang dengan sia-sia melalui *exhaust manifold* ke lingkungan tanpa dimanfaatkan (Wisnu Adi Nugroho dkk, 2015). Oleh sebab itu, diperlukan suatu cara agar energi panas yang terbuang dari knalpot tersebut dapat dimanfaatkan. Salah satu cara tersebut adalah dengan merubah energi panas yang berada di *exhaust manifold* menjadi energi listrik.

Sesuai Hukum Kekekalan Energi (Hukum *Termodinamika* 1) “Energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan”. Untuk itu diperlukan suatu alat yang bisa mengubah energi panas menjadi energi listrik, yaitu dengan menggunakan material termoelektrik *generator*. Termoelektrik *generator* (TEG) adalah suatu modul yang mengubah energi panas menjadi energi listrik dengan memanfaatkan kecepatan perpindahan elektron dari dua tipe semikonduktor yang menghasilkan perbedaan potensial. Prinsip kerja ini dikenal dengan efek Seebeck yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain (R M Agizna A, 2009). Semakin besar nilai perbedaan suhu, maka listrik yang dihasilkan juga semakin besar, Variasi susunan yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan susunan seri dan susunan paralel.

Maka dari itu untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari *termoelektrik generator* tersebut apabila jumlah serta susunan di variasikan, sehingga penulis membuat penelitian dengan judul “**Analisa Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Karakteristik Termoelektrik Generator Pada Motor Bensin 4 Cylinder**”.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dirumuskan beberapa masalah, sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik *generator* terhadap karakteristik termoelektrik *generator*?
2. Berapakah jumlah dan jenis susunan modul termoelektrik *generator* yang memiliki karakteristik TEG yang terbaik?
3. Berapakah daya yang dapat dihasilkan dalam pemanfaatan energi *thermal* melalui alat termoelektrik *generator* untuk menghasilkan energi listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan, sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik *generator* terhadap karakteristik termoelektrik *generator*.
2. Untuk mendapatkan daya yang dapat dihasilkan dalam pemanfaatan energi *thermal* melalui alat termoelektrik *generator* untuk menghasilkan energi listrik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah, sebagai berikut :

1. Putaran mesin yang digunakan pada saat pengujian adalah 1000 rpm.
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *tachometer*, *thermometer digital*, dan *multitester*.
3. Pengujian hanya dengan susunan seri dan paralel.
4. Pengujian hanya sampai dengan pengecasan daya ponsel

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang analisa ini, penulis melengkapi penguraiannya sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tentang teori-teori pendukung dan persamaan-persamaan yang digunakan dalam menganalisa karakteristik termoelektrik *generator*.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisikan tentang langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan tentang hasil dan pembahasan perhitungan dari pengolahan data dalam penelitian.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini bersikan tentang kesimpulan dan saran dari keseluruhan tugas akhir.

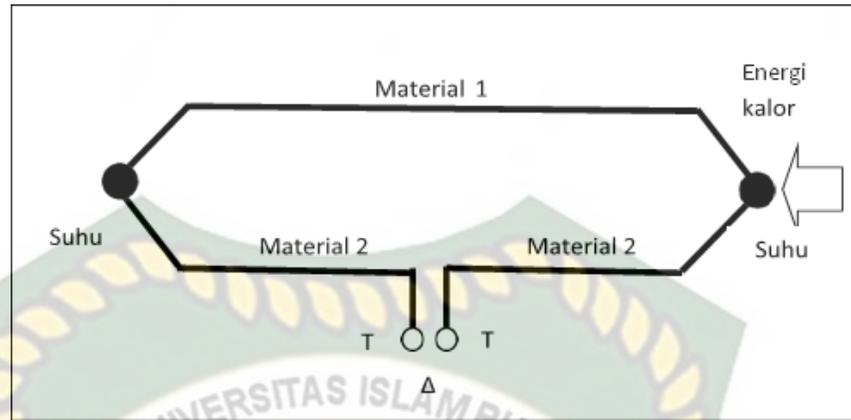


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Termolektrik *Generator*

Termoelektrik *generator* berasal dari teori fisikawan Jerman bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1826, dimana jika dua buah bahan semikonduktor yang berbeda jenis bila masing-masing permukaan memiliki beda (gradien) temperature maka dapat menghasilkan tegangan (Wahyudi, 2019). Termolektrik *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 (Munis K A dkk, 2013). 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 buka rangkaian yang dihasilkan antara dua titik pada konduktor ketika perbedaan temperatur seragam sebesar 1 K diterapkan antara dua titik tersebut (Ansyori, 2017). Efek Seebeck memperlihatkan bahwa adanya aliran kalor dalam 2 material yang berbeda dapat menimbulkan arus listrik searah.



Gambar 2.1 Efek Seebeck (Munis K A, 2013)

Dengan memperhatikan gambar 2.1 efek Seebeck dapat dijelaskan sebagai berikut, bila dua penghantar yang berbeda bahan (misalnya : material 1 : besi dan material 2 : tembaga) disambungkan pada ujung-ujungnya (yaitu sambungan A dan sambungan B) sehingga dapat membentuk rangkaian yang tertutup, dan apabila antara sambungan satu (sambungan A) dengan sambungan yang lainnya (sambungan B) dikondisikan sedemikian rupa sehingga kedua sambungan mempunyai perbedaan suhu (misalnya ΔT), maka di dalam rangkaian tersebut akan timbul gaya gerak listrik (*electromotive force = emf*) yang disebut dengan gaya gerak listrik Seebeck (Munis K A, 2013). Arus listrik yang ditimbulkan adalah arus listrik searah (DC). Pada gambar 2.1, sambungan A bersuhu T_c dan sambungan B bersuhu T_h . Suhu T_h lebih tinggi dari suhu T_c . Perbedaan suhu sambungan antara T_h dan T_c adalah ΔT . Jika di salah satu penghantar pada rangkaian diputuskan, maka akan terjadi suatu tegangan listrik atau beda potensial diantara kutub kutub yang diputuskan. Beda potensial ini sebanding dengan perbedaan suhu dan tergantung dari sifat bahan penghantarnya (Munis K A, 2013). Persamaan yang menghubungkan beda potensial (ΔE) dengan perbedaan suhu (ΔT) adalah :

$$\Delta E = \alpha_{XY} \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Dimana:

ΔE : beda potensial yang dibangkitkan (V)

α_{XY} : koefisien Seebeck relatif dari material 1 terhadap material 2, (V/K)

ΔT :perbedaan suhu antara suhu disambungan A dengan suhu disambungan B (K)

Koefisien Seebeck relatif (α_{XY}) dari rangkaian tergantung dari jenis bahan penghantar. Besarnya nilai koefisien Seebeck relatif ditentukan dari selisih nilai koefisien Seebeck mutlak material pertama (α_X) dengan nilai koefisien mutlak material kedua. Jadi persamaannya dapat dinyatakan dengan persamaan (2.2)

$$\alpha_{XY} = \alpha_X - \alpha_Y \quad (2.2)$$

Perbedaan tegangan listrik dapat positif atau negatif tergantung arah penurunan temperatur. Berdasarkan persamaan (2.2) jika nilai koefisien mutlak material X lebih positif dari nilai koefisien mutlak material Y (atau koefisien Seebeck relatif XY positif) dan jika $T_1 < T_2$ maka arus listrik (I) mengalir pada sambungan B (sambungan bersuhu tinggi) dengan arah dari material 1 ke material 2. Efek Seebeck bersifat reversibel, yaitu disambungan B (sambungan bersuhu rendah yang sebelumnya bersuhu tinggi) arah arus listrik dari material 2 ke material 1. Nilai koefisien Seebeck dari beberapa material disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Koefisien Seebeck mutlak pada material logam dan semikonduktor (Munis K A dkk, 2013)

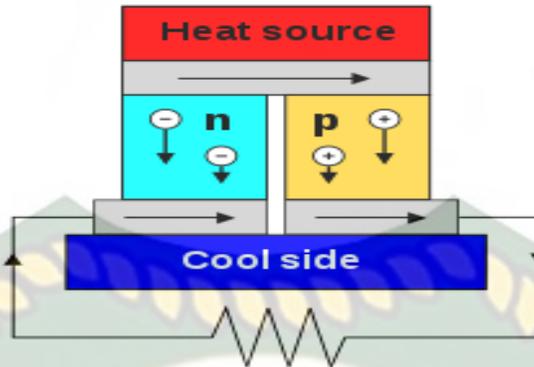
Semikonduktor	Koefisien Seebeck	Logam	Koefisien Seebeck
	$\mu\text{V/K}$		$\mu\text{V/K}$
Se	900	Antimony	47
Te	500	Nichrome	25
Si	440	Molybdenum	10
Ge	300	Cadmium	7,5
n-type Bi_2Te_3	-230	Wolfram	7,5
p-type $\text{Bi}_{2x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$	300	Emas	6,5
p-type Sb_2Te_3	185	Perak	6,5
PbTe	-180	Tembaga	6,5
$\text{Pb}_{03}\text{Ge}_{39}\text{Se}_{58}$	1670	Rhodium	6
$\text{Pb}_{06}\text{Ge}_{36}\text{Se}_{58}$	1410	Tantalum	4,5
$\text{Pb}_{09}\text{Ge}_{33}\text{Se}_{58}$	-1360	Timbal	4
$\text{Pb}_{13}\text{Ge}_{29}\text{Se}_{58}$	-1710	Aluminium	3,5
$\text{Pb}_{15}\text{Ge}_{37}\text{Se}_{58}$	-1990	Karbon	3
SnSb_4Te_7	25	Merkuri	0,6
SnBi_4Te_7	120	Platina	0
$\text{SnBi}_3\text{Sb}_1\text{Te}_7$	151	Sodium	-2,0
$\text{SnBi}_{2,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_7$	110	Potassium	-9,0

Termoelektrik pada umumnya tersusun menggunakan material semikonduktor dan insulator sebagai berikut :

1. Semi konduktor jenis N (*n type semiconductcor*) dari bahan Bismuth Telluride (Bi_2Te_3)
2. Semi konduktor jenis P (*p type semiconductcor*) dari bahan Bismuth Antimony Telluride ($\text{Bi}_{2x}\text{SbxTe}_3$)
3. Insulator (*elecricral insulator*) dari bahan Allumina Ceramic (Al_2O_3)
4. Bahan penyambung menggunakan patri dengan jenis paduan timah timbal (SnPb Alloy)
5. Konduktor (dari bahan tembaga)

2.1.1 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 maka dia menyebut fenomena tersebut dengan efek *thermomagnetic* (Wahyudi, 2019). Fisikawan Denmark, Hans Christian Orsted memperbaiki kesalahan dan menciptakan istilah termoelektrik. 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.



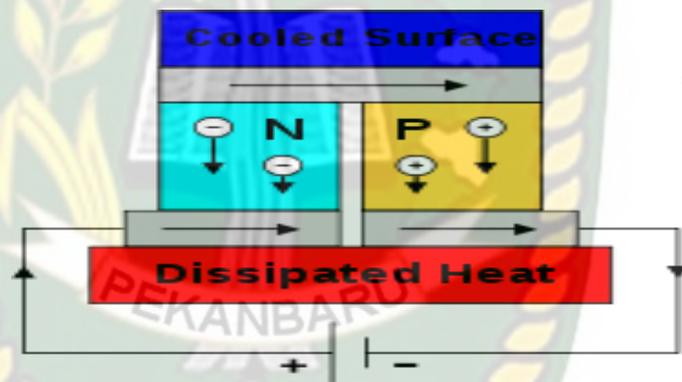
Gambar 2.2 Skema efek Seebeck pada suatu bahan (Wahyudi, 2019)

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. 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 (Wahyudi, 2019). 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 termoelektrik

2.1.2 Efek Peltier

Kebalikan dari efek Seebeck, yaitu apabila dua logam yang berbeda disambungkan lalu arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor. Prinsip inilah yang dipakai termoelektrik sebagai pendingin/pompa kalor, termoelektrik terdiri dari dua buah bahan berbeda yang

disambungkan, material yang dipilih memiliki koefisien seebeck cukup tinggi. Saat ini kebanyakan termoelektrik menggunakan *Bismuth-Telluride* sebagai bahan pembuatnya (Simatupang H, 2009). Perangkat modul termoelektrik yang dijual biasanya berbentuk plat tipis. Salah satu termoelektrik *generator* yang dengan mudah kita dapatkan berukuran 40 mm x 40 mm dengan ketebalan 3 mm dan terdapat dua buah kabel (biasanya merah dan hitam). Bila di antara kedua permukaan termoelektrik terdapat perbedaan temperatur maka tegangan listrik akan dihasilkan dan tegangan tersebut dapat kita ukur melalui dua kabel termoelektrik dengan menggunakan *voltmeter*. Jika perbedaan temperatur cukup besar, maka termoelektrik dapat menghidupkan sebuah lampu LED kecil. Listrik yang dihasilkan pada termoelektrik *generator* adalah listrik searah (DC) (Wahyudi, 2019).

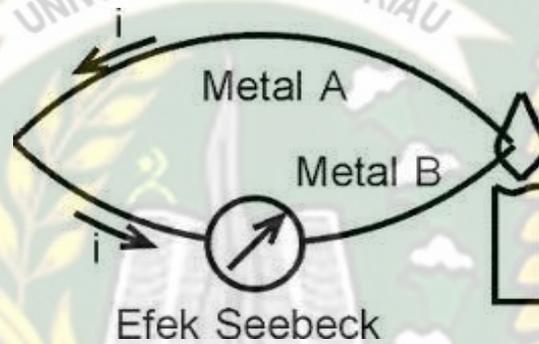


Gambar 2.3 Skema efek peltier pada suatu bahan (Wahyudi, 2019).

2.1.3 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

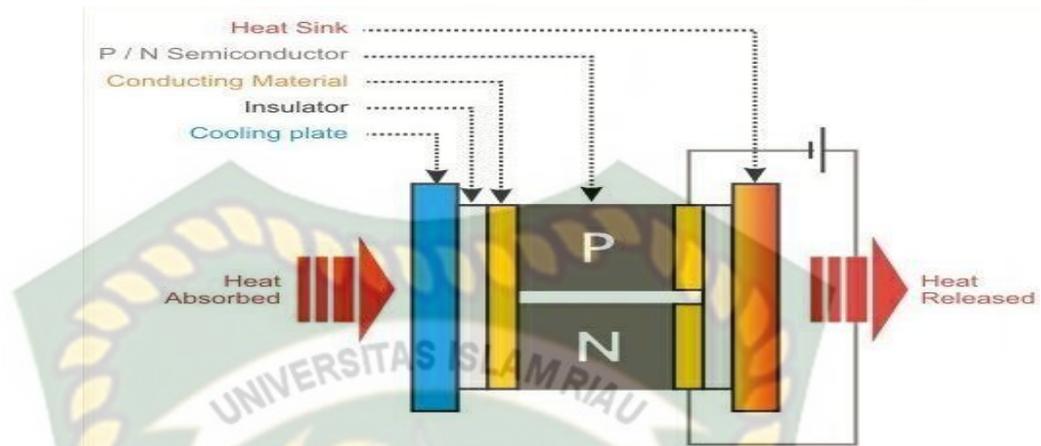
pitavalensi menuju pita konduksinya yang selanjutnya akan menghasilkan arus (Yusuf M, 2018). Untuk kasus semikonduktor tipe-n, ketika *elektronereksitasi* ke pita konduksi, maka akan ada hole dari hasil perpindahan elektron tersebut. Setelah itu, hole tersebut akan diisi oleh elektron selanjutnya, dan elektron yang pindah ke *hole* satu akan menghasilkan *hole* selanjutnya. Sehingga akan terlihat pergerakan *hole* yang berlawanan pergerakan dari elektron (arus).



Gambar 2.4 Pita konduksi dan pita valensi pada electron (Yusuf M, 2018)

2.2 Konstruksi Termoelektrik *Generator*

Termoelektrik 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). Termoelektrik ini berbahan *bismuth telluride*. Jika sebuah semikonduktor tipe-p dan tipe-n terhubung dalam suatu rangkaian listrik dan terdapat beban di dalam rangkaian tertutup tersebut, maka perbedaan suhu yang diterima pada kedua sisi *junction* dari dua semikonduktor tersebut, menyebabkan adanya arus listrik yang timbul akibat perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin (Wahyudi, 2019).



Gambar 2.5 Penampang termoelektrik (Wahyudi, 2019)

2.2.1 Jumlah Termoelektrik *Generator*

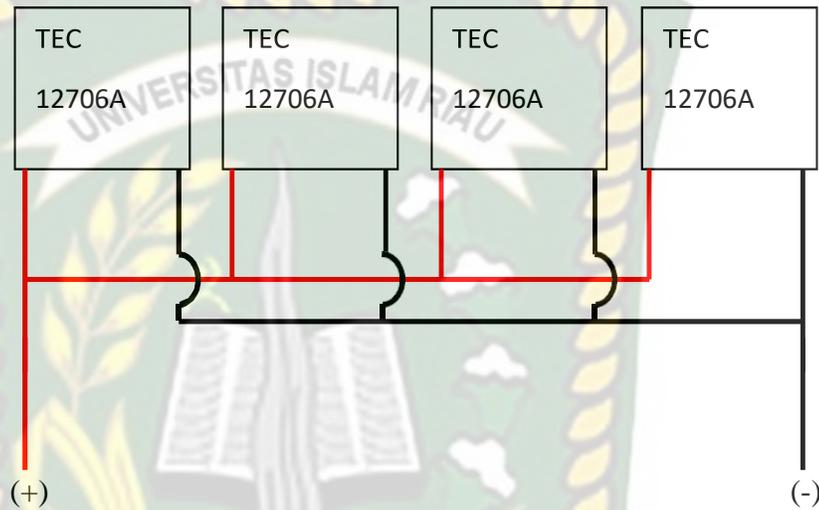
Untuk melihat hasil yang terbaik dalam penelitian ini, jumlah termoelektrik generator sangatlah berpengaruh. Adapun jumlah termoelektrik yang digunakan memiliki 3 variasi, yaitu empat, delapan, dan dua belas buah termoelektrik *generator*. Dengan perbedaan ini, kita akan melihat hasil yang berbeda serta dapat menentukan hasil yang terbaik.

2.2.2 Susunan Termoelektrik *Generator*

Tidak hanya jumlah termoelektrik *generator* saja yang berpengaruh dalam penelitian ini, tetapi susunan termoelektrik juga berpengaruh. Adapun susunan yang digunakan ialah susunan paralel dan seri.

a. Susunan Paralel

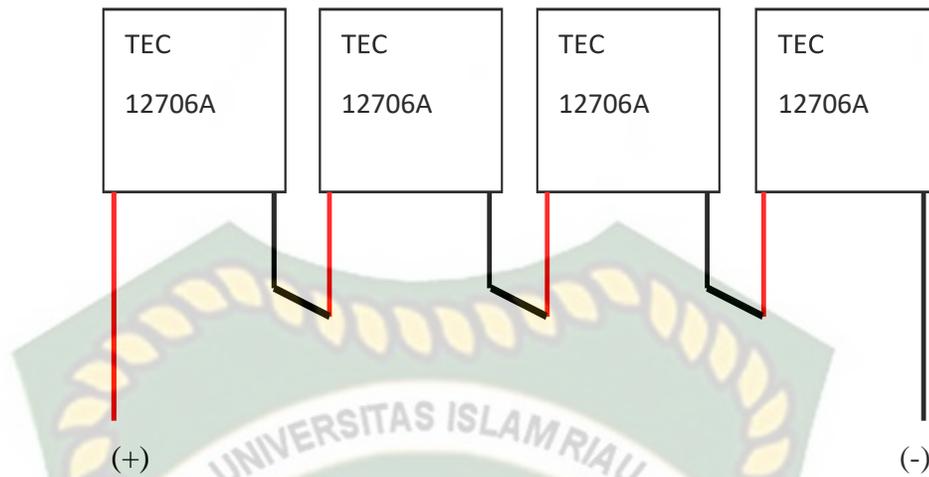
Berbeda dengan susunan seri, dimana termoelektrik *generator* disusun sejajar atau berurutan, pada susunan paralel ini termoelektrik *generator* tidak disusun secara sejajar. Susunan paralel dapat dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Susunan paralel (Wahyudi, 2019)

b. Susunan Seri

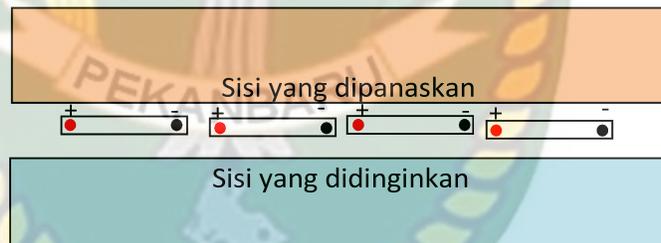
Pada susunan seri, termoelektrik *generator* disusun secara sejajar atau berurutan. Susunan seri dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah in



Gambar 2.7 Susunan seri (Wahyudi, 2019)

c. Skematik Pemasangan Termoelektrik *Generator*

Pada rancangan ini modul disusun berurutan terhadap satu permukaan yang dipanaskan dan satu permukaan yang didinginkan seperti pada gambar 2.8 di bawah ini.



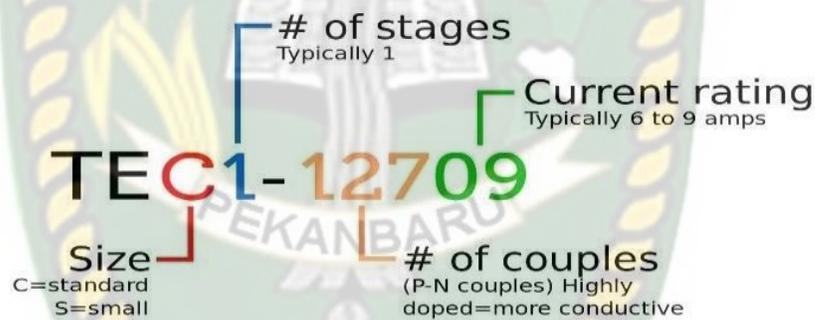
Gambar 2.8 Pemasangan modul TEG (Wahyudi, 2019)

2.2.3 Spesifikasi Termoelektrik *Generator*

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



Gambar 2.9 Bentuk termoelektrik yang ada dipasaran (Wibowo P A, 2014)



Gambar 2.10 Arti tulisan pada termolektrik (Wahyudi, 2019)

Untuk lebih jelasnya dalam memahami atau membaca spesifikasi dari modul peltier dapat kita lihat pada gambar 2.10 di atas. Modul peltier yang sering dipakai secara umum memiliki ukuran dimensi yang sama yaitu sekitar 4cm x 4cm, 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 termolektrik tersebut. Adapaun spesifikasinya yaitu 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: 150°C
- Min Operating Temp: - 50°C

2.3 Bahan Semikonduktor

Bahan semikonduktor sendiri merupakan elemen dasar dari sebuah komponen *elektronika*, seperti *transistor*, IC serta diode (Nugroho W A, 2015). Semikonduktor adalah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor, semikonduktor sangatlah penting didalam dunia elektronika, disebabkan konduktivitasnya yang dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut dopping). Semikonduktor sangat luas pemakaiannya, terutama sejak ditemukannya transistor pada akhir tahun 1940-an. Oleh sebab itu semikonduktor dipelajari secara intensif dalam fisika zat padat. Namun dalam penelitian ini hanya akan membahas bahan semikonduktor termoelektrik saja .

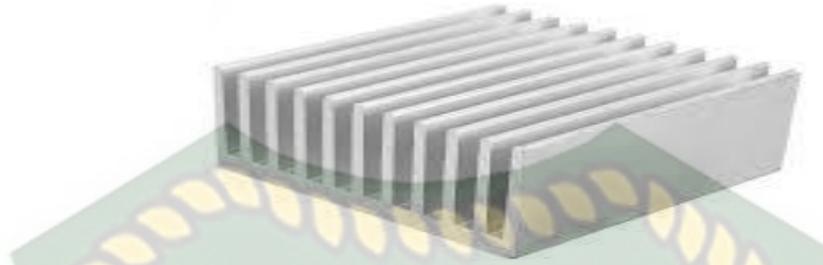
Bahan semikonduktor termoelektrik yang paling sering digunakan saat ini adalah *Bismuth Telluride* (Bi₂Te₃) yang telah diolah untuk menghasilkan blok atau elemen yang memiliki karakteristik individu berbeda yaitu tipe n dan tipe P. Bahan termoelektrik lainnya termasuk timbal *Telluride* (PbTe), *Silicon Germanium* (SiGe) dan *Bismuth-Antimony* (SbBi) adalah paduan bahan yang dapat digunakan dalam situasi tertentu, namun *bismuth telluride* adalah bahan terbaik dalam hal pendinginan (Wahyudi, 2019). Energi panas bisa dimanfaatkan sehingga bisa lebih berguna dengan mengkonversi atau mengubahnya menjadi energi listrik yang tentunya menggunakan pengubah atau pengkonversi yang dapat merubah dari energi panas menjadi energi listrik yang

dinamakan generator. Modul peltier biasa dimanfaatkan sebagai *generator* panas dengan mengaplikasikan prinsip efek *Seebeck*. Berdasarkan dari prinsip-prinsip diatas dalam upaya penciptaan energi terbarukan yang ramah lingkungan maka perlu diadakannya penelitian untuk mengetahui efektifitas dari modul peltier yang mana memanfaatkan kedua prinsip diatas, yaitu efek *Seebeck* dan efek peltier, yang kedua prinsip tersebut bisa ditemukan pada bahan semikonduktor termoelektrik *peltier*.

2.4 *Heatsink Dan Coldsink*

2.4.1 *Heatsink*

Heatsink adalah logam yang didesain khusus terbuat dari aluminium dan tembaga yang berfungsi untuk memperluas proses perpindahan panas pada prosesor (Wahyudi, 2019). Komponen cpu yang biasanya digunakan untuk menyerap panas biasanya terbuat dari aluminium, dan kipas pendingin biasanya digunakan untuk lebih mengoptimalkan penyerapan panas. Dengan kata lain, proses ini meningkatkan kinerja komputer dengan mentransfer panas dari heat sink ke bagian luar cpu. *Heatsink* dipakai untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. Potensi pembangkitan daya dari sebuah modul *termoelektrik* tunggal akan berbeda-beda bergantung ukuran, konstruksi dan perbedaan temperaturnya. Perbedaan temperatur yang semakin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul *heatsink* dipakai untuk menyalurkan/menghantarkan panas ke permukaan sisi *peltier*, sehingga panas yang diperoleh menjadi maksimal dan juga merata, *heatsink* harus memiliki permukaan yang rata dan halus, 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 supaya suhu yang dikirimkan menjadi lebih maksimal dan efisien (Wahyudi, 2019). Heatsink bisa kita dapatkan di toko-toko elektronik, biasanya dijual di toko online dengan harga yang bervariasi, tergantung ukuran dan juga kualitasnya.



Gambar 2.11 *Heatsink* (Wahyudi, 2019)

2.4.2 *Coldsink*

Coldsink merupakan alat yang digunakan untuk menurunkan suhu panas perangkat elektronik, biasanya digunakan pada IC, CPU, dan Peltier. *Coldsink* ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan *heatsink* yang menyerap panas. Perbedaannya adalah *heatsink* digunakan untuk mentransfer panas ke peltier, sedangkan *coldsink* digunakan untuk mengurangi dan menghilangkan suhu peltier yang tinggi. Ini untuk menjaga perbedaan suhu yang terjadi di peltier, menghasilkan energi listrik yang lebih optimal, dan mencegah peltier mengalami panas berlebih. Jika peltier terlalu panas dapat menyebabkan kerusakan yang fatal dan membuat peltier tidak dapat digunakan lagi. Dalam penggunaannya, sinkronisasi dingin dapat diberikan bentuk kipas tambahan untuk mengoptimalkan kinerja sinkronisasi dingin. (Wahyudi, 2019).



Gambar 2.12 *Coldsink* (Wahyudi, 2019)

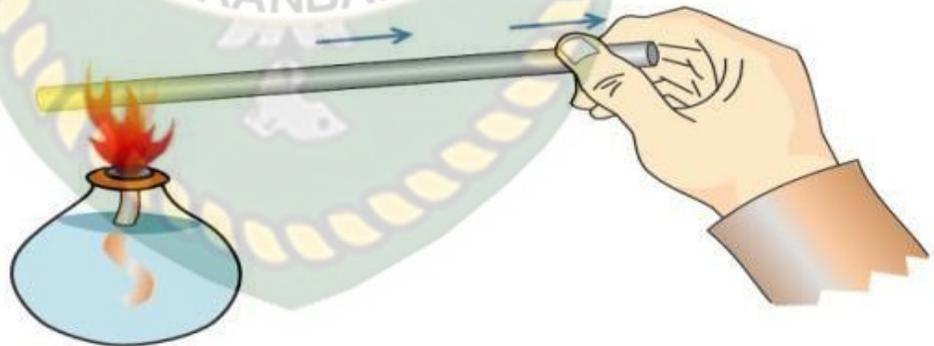
2.5 Panas

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. 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°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 temperatur -273°C dikatakan sebagai nol absolute dan didalam dunia ilmu dikenal sebagai 0 (K) (Wardodo, 2016). 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.

2.5.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi diantara benda atau partikel-partikel yang berkontak langsung atau melekat satu dengan yang lainnya, tidak ada pergerakan relatif diantara benda-benda tersebut. contohnya panas yang berpindah di dalam sebuah batang logam akibat pemanasan salah satu ujungnya seperti terlihat pada gambar 2.13 yang menunjukkan prinsip dari laju perpindahan panas konduksi pada dinding pelat. Panas berpindah secara konduksi dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Pada penelitian ini, perpindahan panas terjadi secara konduksi, dimana panas pada *exhaust manifold* akan berpindah ke termoelektrik *generator* karena termoelektrik *generator* menempel pada dinding *exhaust manifold*. Laju perpindahan panas dinyatakan dengan hukum Fourier.



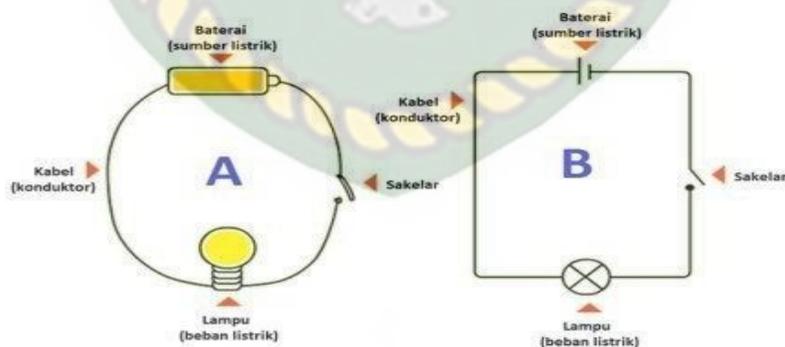
Gambar 2.13 Perpindahan Panas Secara Konduksi (Wahyudi, 2019)

2.5.2 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 $\text{J}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$.

2.6 Rangkaian Listrik

Rangkaian listrik merupakan sebuah jalur atau rangkaian sehingga elektron bisa mengalir dari sumber voltase atau arus listrik. Proses perpindahan elektron inilah yang dikenal sebagai listrik. Elektron dapat mengalir pada material penghantar arus listrik yakni konduktor. Oleh sebab itu kabel dipakai pada rangkaian listrik karena kabel terbuat dari tembaga yang bisa menghantarkan arus listrik. Tempat dimana elektron masuk ke dalam sebuah rangkaian listrik dinamakan dengan sumber listrik. Pada gambar 2.14 dibawah ini, lampu merupakan beban listrik dan sumber listrik yang 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 (Ansyori, 2017).



Gambar 2.14 Rangkaian Listrik (Ansyori, 2017)

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.

2.7 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:

$$P = V \times I$$

Dimana:

P : daya listrik (W)

V : tegangan listrik (V)

I : arus listrik (A)

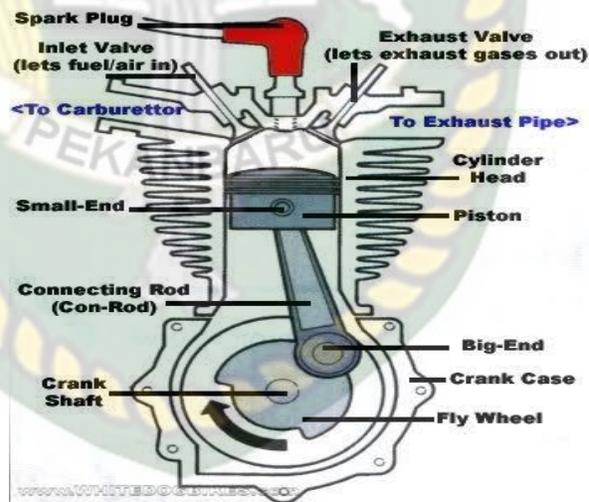
Dengan kata lain, 1 W adalah didefinisikan sebagai daya listrik yang dibutuhkan bila tegangan 1 V dihubungkan ke lampu dan arus 1 A mengalir melalui lampu tersebut.

2.8 Motor Bakar

Penggerak mula yang bisa merubah suatu bentuk energi panas menjadi energi mekanik disebut motor bakar. Selain itu motor bakar dapat juga diartikan sebagai mesin kalor dimana energi untuk daya mekaniknya diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin itu sendiri. Oleh sebab itu motor bakar juga disebut sebagai pesawat kalor dengan pembakaran dalam. Dari proses pembakaran campuran udara serta bahan bakar yang mengandung energi panas yang terjadi didalam silinder tersebut menyebabkan

naiknya energi potensial (tekanan) dari udara yang berada didalam ruang bakar yang selanjutnya menjadi energi mekanik pada torak yang bergerak translasi, poros engkol yang bergerak rotasi dengan perantara batang engkol. Daya yang dibangkitkan oleh *engine* ditentukan oleh pembakaran campuran antara udara serta bahan bakar di dalam mesin, serta tekanan dari *vortex mixer* bahan bakar yang berbeda-beda tergantung pada kondisi tempat dimana *engine* tersebut bekerja serta kondisi bahan bakarnya yang dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar (Fiter, 2019).

Di motor bakar torak, dorongan piston bergerak *translasi* di dalam silinder ,hal ini dihasilkan dari gas hasil pembakaran campuran bahan bakar, gerak translasi dari piston itu juga diteruskan oleh batang penggerak keporos engkol menjadi gerak rotasi. Adapun komponen utama daripada motor bakar adalah : cylinder, piston, connectingroad, crankshaft, crankcase (Yusuf M, 2018). Sedangkan secara lebih lengkap komponen daripada motor bakar dapat kita lihat dari gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.15 Komponen motor bakar (Fiter, 2019)

2.9 Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar dapat digolongkan menjadi beberapa hal (Fiter, 2019), yaitu :

1. Berdasarkan langkah kerja, meliputi :

a. Motor bakar 4 langkah

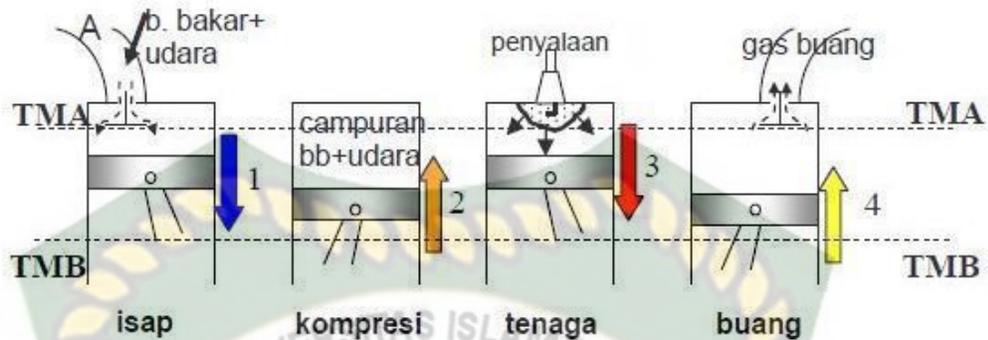
Biasa disebut motor bakar otto 4 langkah, adalah jenis motor bakar yang pada setiap 4 langkah torak menghasilkan 1 kali langkah usaha atau terjadi 1 kali pembakaran bahan bakar. Setiap satu kali langkah torak terjadi pada 1/2 putaran poros engkol, jadi 4 kali langkah torak berarti 2 putaran poros engkol. Keempat langkah pada motor bakar 4 langkah itu terdiri atas langkah isap, kompresi, kerja (ekspansi) dan buang.

b. Motor bakar 2 langkah

Untuk motor 2 langkah hampir sama dengan siklus 4 langkah, perbedaannya motor 2 langkah dalam menyelesaikan 1 siklus memerlukan 1 kali putaran poros engkol atau 2 langkah piston dan pada proses pembilasan. Proses pembilasan adalah proses pembuangan dan pemasukan bahan bakar kedalam lubang silinder secara bergantian.

2.10 Prinsip Kerja Motor Bakar Bensin 4 Langkah

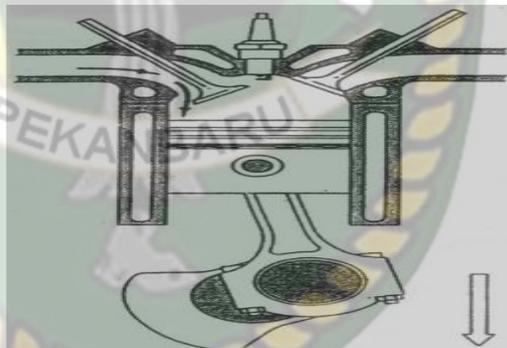
Proses pembakaran didalam motor bensin terjadi secara periodik atau Prinsip kerjanya memerlukan 4 kali gerakan piston atau 2 putaran poros engkol untuk menyelesaikan 1 siklus di dalam mesin. Jama dan Wagino, (2008: 69-74) dalam bukunya prinsip kerja motor bensin 4 langkah.



Gambar 2.16 Proses Kerja Motor Bakar 4 Langkah (Fiter, 2019)

Masing-masing kerja motor 4 langkah dijelaskan di bawah ini :

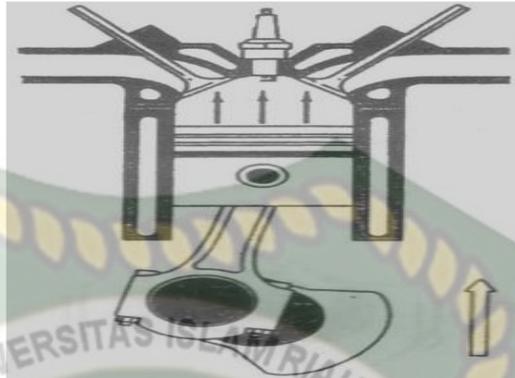
1. Langkah Isap



Gambar 2.17 Langkah Isap (Fiter, 2019)

Dimana Piston beralih dari TMA ke TMB dengan Katup isap terbuka dan katup buang tertutup. Sewaktu piston berpindah ke bawah tekanan diruang bakar menjadi vakum terjadilah Perbedaan tekanan udara luar yang tinggi dengan tekanan didalam silinder yang membuat udara akan berpindah dan berbaaur dengan bahan bakar. Seterusnya campuran udara dengan bahan bakar tersebut melalui katup masuk yang terbuka bergerak masuk ke dalam silinder.

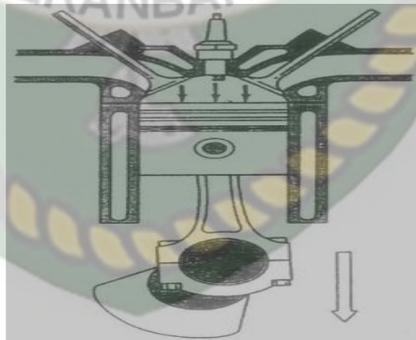
2. Langkah Kompresi



Gambar 2.18 Langkah Kompresi (Fiter, 2019)

Di langkah penekanan ini torak berpindah dari TMB ke TMA dengan kedua katup tertutup. Dengan terjadinya proses kompresi, udara serta bahan bakar yang tercampur menjadi padat sehingga tekanan dan suhunya akan naik. Beberapa saat sebelum torak berada TMA terjadi proses penyalaan terhadap campuran bahan bakar yang telah terkompresi pada saat itu busi akan memercikan bunga api listrik sehingga terbentuklah proses pembakaran.

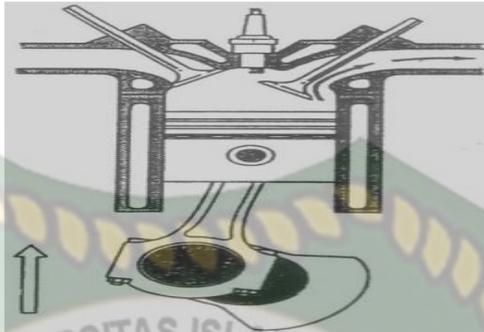
3. Langkah Kerja



Gambar 2.19 Langkah Kerja (Fiter, 2019)

Pada saat langkah ini kedua katup dalam kondisi tertutup, Karena terjadi transformasi dari energi kimia menjadi energi gerak dan gas sisa yang menyebabkan torak terdorong dari TMA ke TMB. Gerakan torak ini akan mengakibatkan berputarnya poros engkol sehingga membuahkan gaya.

4. Langkah Buang

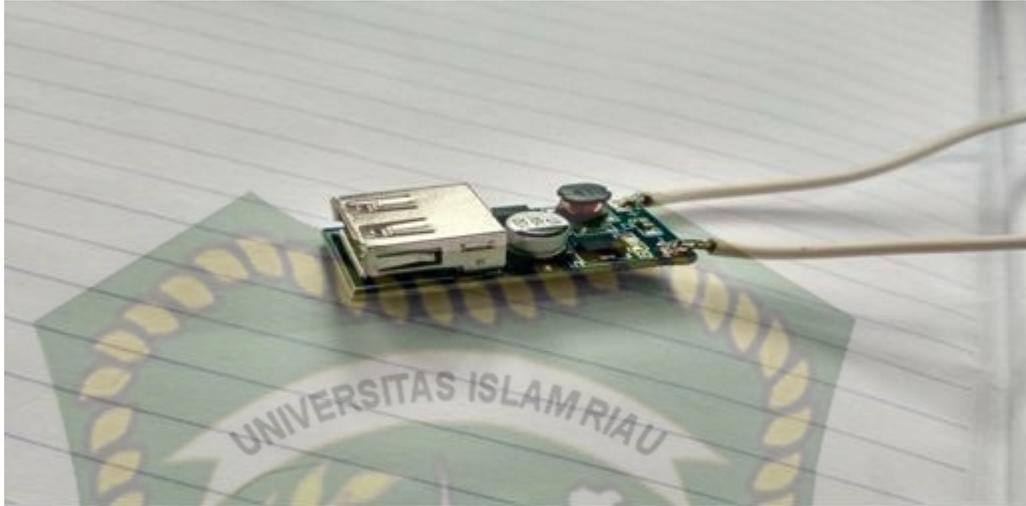


Gambar 2.20 Langkah Buang (Fiter, 2019)

Dilangkah buang ini torak beralih dari TMB ke TMA dengan keadaan katup buang terbuka serta katup masuk tertutup. sewaktu torak mulai bergerak naik dari TMB, torak mendorong gas sisa yang masih tertinggal keluar melalui katup buang dari saluran buang kelingkuangan. Setelah langkah ini maka motor torak telah memenuhi 1 siklus dalam silinder. Seterusnya akan kembali lagi ke langkah awal isap untuk siklus seterusnya.

2.11 *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 suatu 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* (Wahyudi, 2019).



Gambar 2.21 *Boost Converter/DC to DC Converter* (Wahyudi, 2019)

Pada peltier, alat ini membantu menaikkan tegangan hingga 5 Volt. Saat peltier menghasilkan energi listrik, alat secara otomatis menaikkan tegangan menjadi 5V, tetapi tegangan input harus mencapai minimal 0,6 V atau 2 V, tergantung jenis booster yang digunakan. Alat ini juga memiliki batas atas arus yang diterima, yaitu 600 mA untuk booster dengan tegangan minimum 0,6 Volt dan tegangan 2 Volt (Wahyudi, 2019). Setelah nilai tegangan dinaikkan menjadi 5 Volt, nantinya alat ini digunakan untuk pengecasan daya ponsel.

2.12 Panas Exhaust Manifold

Motor bakar merupakan sistem mesin yang digunakan sebagai tenaga penggerak, setiap motor bakar tidak memanfaatkan semua energi panas yang dihasilkan untuk menggerakkan mesin. Pada motor bensin, panas efisien yang digunakan untuk menggerakkan motor sekitar 25% - 30% dari panas hasil pembakaran. Sekitar 40 % lebih panas hasil pembakaran dibuang ke lingkungan sekitar melalui knalpot tanpa dimanfaatkan lagi (Wahyudi, 2019). Telah diketahui bahwa kendaraan bermotor merubah energi panas menjadi energi kinetik, energi panas ini berasal dari proses pembakaran bahan bakar pada blok silinder kendaraan. Kalor atau energi panas yang tidak terpakai ini dapat

diklasifikasikan menjadi 3 tingkat, yaitu tingkat tinggi, menengah dan rendah. Untuk kisaran tinggi panas knalpot yaitu antara temperatur 590 °C sampai 1650 °C, tingkat menengah antara temperatur 200 °C sampai 590 °C, dan untuk kisaran panas knalpot terendah antara temperatur 40 °C sampai 200 °C. Dengan adanya panas knalpot yang memiliki temperatur tinggi tersebut dan temperatur lingkungan 32 °C maka ada perbedaan suhu, sehingga termoelektrik generator dapat menghasilkan energi listrik. Semakin tinggi perbedaan temperatur yang dihasilkan, maka energi listrik yang dihasilkan juga semakin besar.

2.13 Karakteristik Termoelektrik

Pembangkit listrik termoelektrik generator adalah sebuah perangkat *solid state* yang melakukan konversi energi langsung dari energi panas karena gradien suhu menjadi energi listrik berdasarkan efek Seebeck. Siklus listrik termoelektrik, dengan pembawa muatan (elektron) yang berfungsi sebagai fluida kerja, mengikuti hukum dasar termodinamika dan erat menyerupai siklus kekuatan konvensional mesin panas. Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (termoelektrik generator) dengan memanfaatkan beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin pada termoelektrik *generator*, atau sebaliknya dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Kerja pendingin termoelektrik tidak jauh berbeda, jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang disekitarnya akan terserap. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara, tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional. Kalor mengalir dengan sendirinya dari suatu benda yang temperaturnya lebih tinggi ke benda lain dengan temperatur yang lebih rendah. Abad ke- 19 ditemukan bahwa berbagai fenomena yang berhubungan dengan kerja dan energi. Pertama dilihat bahwa suatu satuan yang umum untuk kalor, yang masih digunakan sekarang dinamakan kalori (kal) dan didefinisikan sebagai kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 gram air

sebesar 1°C (Simatupang H, 2009). Adapun karakteristik pada termoelektrik generator dapat kita lihat dibawah ini:

2.13.1 Koefisien Seebeck

$$S_M = \frac{V}{\Delta T}$$

Dimana :

S_M : koefisien seebeck (V/K)

V : tegangan (V)

ΔT : perbedaan temperatur (K)

2.13.2 Tahanan Listrik Modul Termoelektrik

$$R_{MTH} \text{ atau } R_{MTC} = r_1 T + \frac{r_2 T^2}{2} + \frac{r_3 T^3}{3} + \frac{r_4 T^4}{4}$$

$$R_M = (R_{MTH} - R_{MTC}) / \Delta T$$

Dimana :

R_M : tahanan listrik modul (ohm)

T : temperatur rata-rata modul (K)

R_{MTH} : tahanan listrik modul pada sisi panas T_H (ohm)

R_{MTC} : tahanan listrik modul pada sisi dingin T_C (ohm)

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 amper :

$$r_1 = 2,08317, r_2 = - 1,98763 \times 10^{-2}, r_3 = 8,53832 \times 10^{-5}, r_4 = - 9,03143 \times 10^{-8}$$

2.13.3 Konduktansi Termal Modul

$$K_{MTH} \text{ atau } K_{MTC} = k_1 T + \frac{k_2 T^2}{2} + \frac{k_3 T^3}{3} + \frac{k_4 T^4}{4}$$

$$K_M = (K_{MTH} - K_{MTC}) / DT$$

Dimana :

K_M : konduktansi termal modul (W/K)

T : temperatur rata-rata modul (K)

K_{MTH} : konduktansi termal modul pada sisi panas T_H (W/K)

K_{MTC} : konduktansi termal modul pada sisi dingin T_C (W/K)

Koefisien untuk modul dengan 71 pasang semikonduktor dan arus 6 ampere :

$$k_1 = 4,76218 \times 10^{-1}, k_2 = -3,89821 \times 10^{-6}, k_3 = -8,64864 \times 10^{-6}, k_4 = 2,20869 \times 10^{-8}$$

Untuk modul *termoelektrik* dengan jumlah semikonduktor dan arus selain 71 pasang dan 6 ampere maka harga S_M , R_M , dan K_M diatas harus dikonversi dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut

$$S_{new} = S_M \times \frac{N_{new}}{71}$$

$$R_{new} = R_M \times \frac{6}{I_{new}} \times \frac{N_{new}}{71}$$

$$K_{new} = K_M \times \frac{I_{new}}{6} \times \frac{N_{new}}{71}$$

Dimana:

S_{new} : koefisien Seebeck untuk modul yang baru (V/K)

R_{new} : tahanan listrik untuk modul yang baru (Ω)

K_{new} : konduktansi termal untuk modul yang baru (W/K)

N_{new} : jumlah pasangan semikonduktor untuk modul yang baru

I_{new} : arus optimum atau maksimum untuk modul yang baru (A)

Perhitungan daya keluaran dan efisiensi pada termoelektrik dapat dihitung tergantung pada jumlah termoelektrik yaitu satu termoelektrik dan beberapa termoelektrik.

2.13.4 Total Modul NT Dapat Dihitung Dengan Persamaan

$$NT = NS \times NP$$

Dimana:

NT : total modul

NS : modul seri

NP : modul paralel

2.13.5 Total Energi Panas Masuk Ke Generator Q_H Dalam Watt Dapat Dihitung Dengan Persamaan

$$Q_H = NT \times \left[\frac{S_M \times T_H \times I}{NP} - 0,5 \times \left[\frac{I}{NP} \right]^2 \times R_M + K_M \times DT \right]$$

Dimana:

Q_H : energi panas masuk (W)

NT : total modul

S_M : koefisien Seebeck (V/K)

T_H : temperatur sisi panas (K)

I : arus keluaran generator (A)

NP : modul paralel

R_M : tahanan listrik modul (ohm)

K_M : konduktansi termal modul (W/K)

DT : selisih temperatur sisi panas dan sisi dingin *termoelektrik* (°C)

2.13.6 Efisiensi Generator (η_G)

Perangkat termoelektrik generator dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik arus searah (DC ketika terjadi perbedaan temperatur. Namun saat ini bahan termoelektrik yang tersedia mempunyai *figure of merit* ($Z < 1$ dan efisiensi perangkat dalam menghasilkan energi listrik jarang melebihi 5%. *Figure of merit* (Z) merupakan besaran yang digunakan untuk menggambarkan kinerja perangkat, sistem atau metode. Di bidang teknik, *figure of merit* sering didefinisikan sebagai bahan tertentu atau perangkat untuk menentukan kegunaan relatifnya dari suatu aplikasi.

$$\eta_G = \frac{P_O}{Q_H} \times 100\%$$

Dimana:

η_G : efisiensi generator

P_O : daya keluaran generator (W)

Q_H : energi panas masuk (W)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

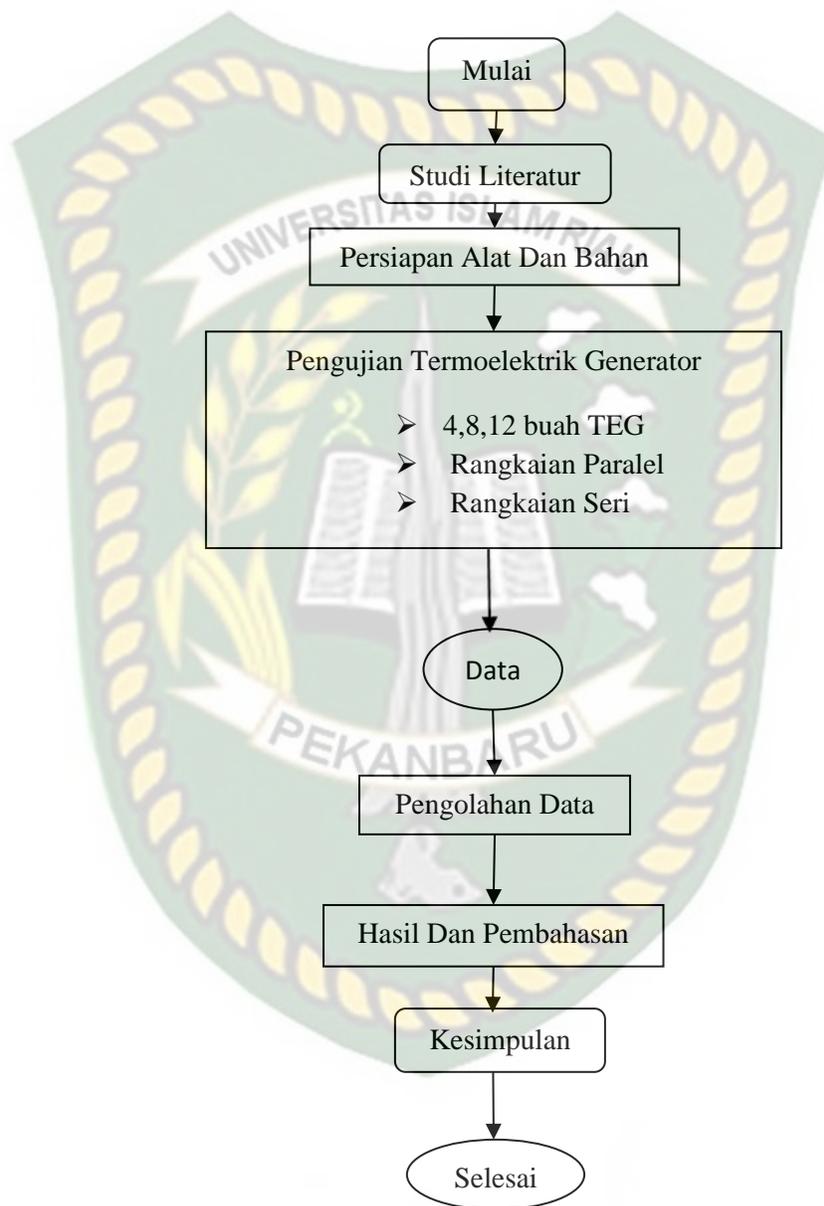
Pengujian analisa pengaruh jumlah dan susunan *termoelektrik generator* terhadap karakteristik *termoelektrik generator* pada motor bensin 4 *cylinder* ini akan dilaksanakan pada tanggal 20 Juli 2020 bertempat di *Workshop*, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau (UIR) yang beralamat di Jl.Kaharuddin Nasution No.133, Marpoyan, Pekanbaru.



Gambar 3.1 *Workshop* Teknik mesin UIR

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir berfungsi sebagai alur dalam penelitian, proses ini digambarkan seperti *flowchart* gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3 Alat Dan Bahan

3.3.1 Alat

Didalam penelitian ini alat yang digunakan adalah:

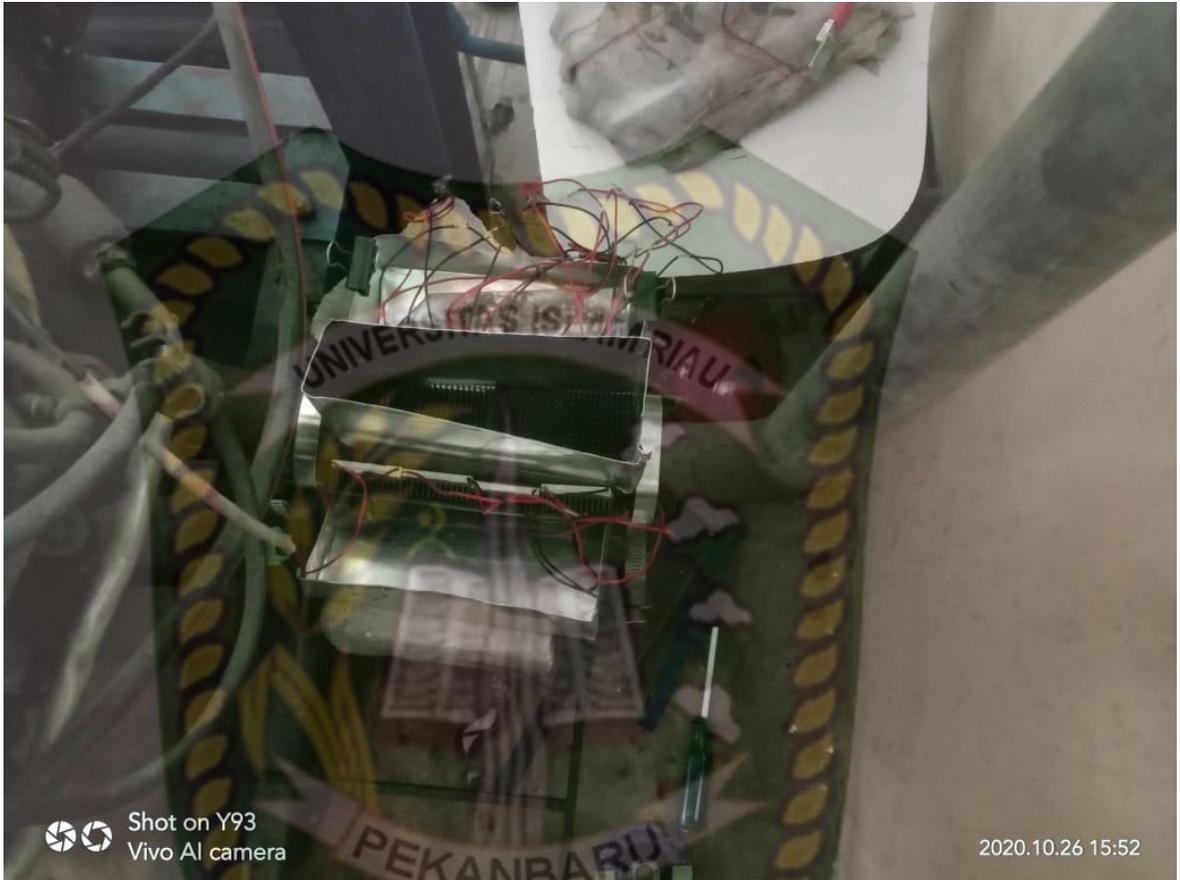
1. Mesin Uji

Dengan menggunakan motor bensin jenis Kijang Toyota 4 *clynder*



Gambar 3.3 Mesin Uji

2. Termoelektrik Generator Terpasang Pada Exhaust Manifold Mesin Uji



Gambar 3.4 Termoelektrik Generator Terpasang Pada Mesin Uji

3. Termoelektrik Generator

Alat ini berfungsi untuk mengubah energi kalor menjadi energi listrik secara langsung.



Gambar 3.5 Termoelektrik generator (Wahyudi, 2019)

4. Blower

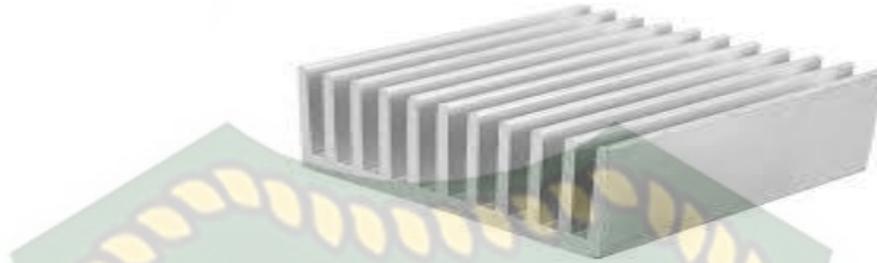
Berfungsi untuk membantu pendinginan pada saat pengujian berlangsung.



Gambar 3.6 Blower

5. Heatsink

Heatsink berfungsi sebagai pendingin sisi *termoelektrik generator* supaya mendapatkan perbedaan temperatur.



Gambar 3.7 Heatsink (Wahyudi, 2019)

6. Termometer Digital

Termometer digital adalah termometer yang fungsinya berdasarkan spektrum cahaya seperti perubahan warna logam yang diakibatkan oleh perubahan suhu.

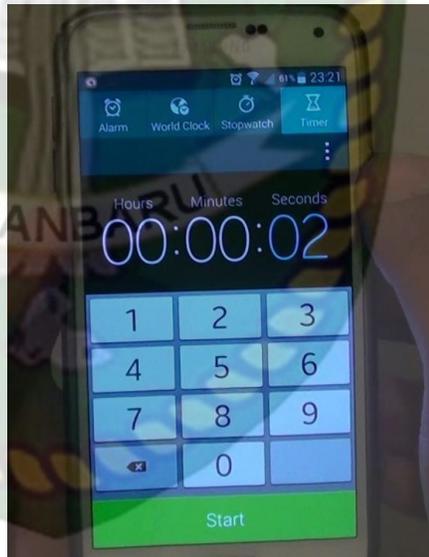
Termometer digital sering dipakai dalam mengukur suhu yang sangat tinggi sekitar 1000°C keatas. Cara kerja termometer optik ini mengukur suhu tetapi tidak menyentuh benda secara langsung. Dalam pengujian alat ini digunakan untuk mengukur suhu yang di pipa kolektor, kaca penutup, plat kolektor.



Gambar 3.8 Termometer digital

7. Stopwatch

Adalah alat yang digunakan untuk mengukur lamanya waktu dalam pengambilan data .



Gambar 3.9 Stopwatch

8. *Multitester*

Alat ini berfungsi untuk mengukur tegangan listrik, arus listrik, dan tahanan (resistensi).



Analog

Digital

Gambar 3.10 *Multitester*

9. *Tachometer*

Untuk mengukur putaran dimesin pada saat pengujian dapat menggunakan ini dengan satuan untuk putaran mesin adalah rpm, untuk alat uji rpm tester dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Tachometer*

3.3.2 Bahan

Sesuai dengan cara pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, untuk penggunaan bahan *spesifik* tidak ada, tetapi hanya berupa bahan habis pakai yaitu bahan bakar minyak yang berfungsi untuk menyalakan mesin uji agar menghasilkan panas pada knalpot sehingga dapat dilaksanakan pengujian pada termoelektrik *generator*.

3.4 Persiapan Pengujian

Perlu adanya persiapan sebelum melakukan pengujian supaya data yang diperoleh dari hasil pengujian merupakan data yang kongkrit.

Persiapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan mesin uji yang akan dipakai dan peralatan-peralatan-peralatan yang mendukung didalam melakukan pengujian.
2. Melakukan pemeriksaan pada mesin uji supaya pada kondisi prima, agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan perhitungan yang dilakukan minimal mendekati atau mempunyai karakter yang sama.
3. Memasang termoelektrik *generator* pada knalpot mesin uji.
4. Mempersiapkan alat tulis untuk mencatat hasil pengujian.

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Prosedur Pengujian Termoelektrik Generator Dengan Susunan Paralel

Langkah-langkah dalam pengujian ini dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Isi terlebih dahulu bahan bakar pada mesin uji.

2. Hubungkan kabel-kabel yang ada pada termoelektrik generator menjadi susunan paralel.
3. Hidupkan mesin uji.
4. Ukur putaran pada mesin menggunakan *tachometer* sesuai dengan yang sudah ditentukan.
5. Setelah sampai putaran yang ditentukan ,maka nyalakan stopwatch untuk menghitung lama mesin berputar sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan.
6. Ukur temperatur pada knalpot mesin uji menggunakan *thermometer digital*.
7. Ukur temperatur pada sisi panas termoelektrik *generator* menggunakan *thermometer digital*.
8. Ukur temperatur pada sisi dingin termoelektrik *generator* menggunakan *thermometer digital*.
9. Ukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan termoelektrik *generator* menggunakan *multitester*.
10. Catat semua hasil pengukuran yang didapatkan.
11. Setelah sampai lama waktu pengujian yang sudah ditentukan,lalu matikan mesin.
12. Tunggu panas pada knalpot berkurang,lalu tambah jumlah termoelektrik generator sesuai jumlah yang sudah ditentukan.
13. Kemudian lakukan pengujian kembali dengan cara yang sama.
14. Pengujian dilakukan sampai 3 kali dengan jumlah termoelektrik *generator* yang berbeda dan waktu serta putaran yang sama.

3.5.2 Prosedur Pengujian Termoelektrik Generator Dengan Susunan Seri

Langkah-langkah dalam pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama seperti pengujian dengan susunan paralel, hanya susunan termoelektrik *generatornya* saja yang berbeda.

3.6 Jadwal kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang pengaruh jumlah dan susunan *termoelektrik generator* terhadap karakteristik *termoelektrik generator* pada motor bensin 4 *cylinder* ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Pembuatan Proposal	■	■							
2	Studi Literatur		■							
3	Persiapan alat dan bahan			■	■					
4	Seminar Proposal				■					
5	Pengujian dan pengumpulan data					■	■	■		
6	Analisa data							■	■	
7	Seminar hasil									■

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik *Generator* Terhadap Tegangan

Dari hasil pengujian diketahui bahwa jumlah dan susunan termoelektrik *generator* memiliki pengaruh terhadap tegangan. Dimana dengan menambah jumlah termoelektrik *generator* serta susunan yang berbeda maka diperoleh tegangan yang berbeda seperti terlihat pada tabel 4.1.

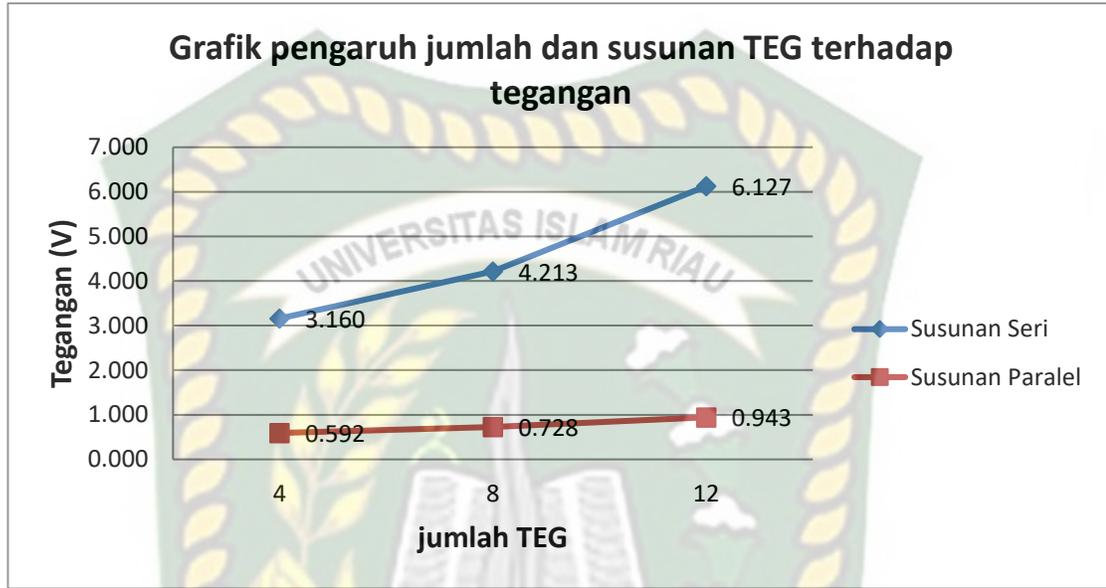
Tabel 4.1 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik *Generator* Terhadap Tegangan

Susunan	Jumlah TEG	Tegangan (V)
Seri	4	3,16
	8	4,213
	12	6,127
Paralel	4	0,592
	8	0,728
	12	0,943

Untuk termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 4 buah di peroleh tegangan sebesar 3,16 (V), sedangkan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 8 buah sebesar 4,213 (V), dan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 6,127 (V). Untuk termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah diperoleh tegangan sebesar 0,592 (V), sedangkan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 8 buah sebesar 0,728 (V), dan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 0,943 (V).

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah memiliki tegangan terendah sebesar 0,592 (V). Sedangkan tegangan

tertinggi pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 6,127 (V). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik 4.1.



Gambar 4.1 Grafik pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik generator terhadap tegangan

Dari gambar 4.1 diatas, kita dapat melihat bahwa semakin banyak jumlah termoelektrik *generator* maka tegangan yang dihasilkan meningkat. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada sisi panas dan dingin termoelektrik *generator* sehingga menghasilkan tegangan. Ini merupakan prinsip efek seebeck dimana jika termoelektrik *generator* diberi panas pada sisi panas serta dibagian sisi dingin diberi pendinginan sehingga menghasilkan perbedaan temperatur, maka termoelektrik *generator* akan langsung menghasilkan tegangan.

Tegangan yang tertinggi diperoleh pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 6,127 (V). Hal ini dikarenakan pada susunan seri, tegangan yang dibangkitkan total adalah penambahan dari seluruh tegangan yang dibangkitkan oleh masing-masing termoelektrik *generator*, sedangkan pada susunan paralel tegangan tetap.

4.2 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Arus

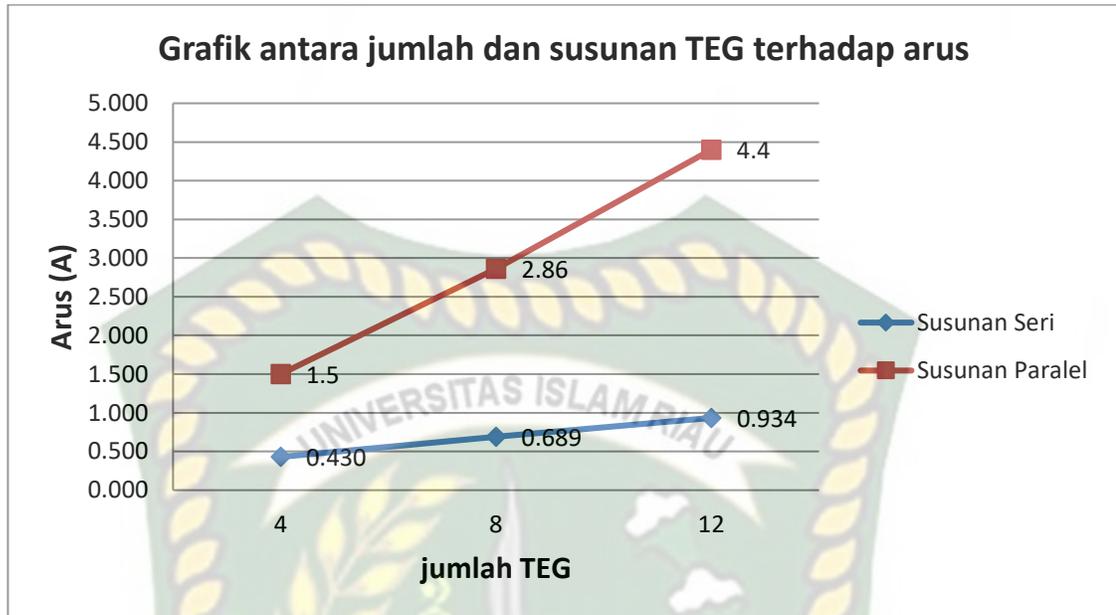
Dari hasil pengujian diketahui bahwa jumlah dan susunan termoelektrik *generator* memiliki pengaruh terhadap arus. Dimana dengan menambah jumlah termoelektrik generator serta susunan yang berbeda maka diperoleh arus yang berbeda seperti terlihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Arus

Susunan	Jumlah TEG	Arus (A)
Seri	4	0,434
	8	0,684
	12	0,934
Paralel	4	1,5
	8	2,86
	12	4,4

Untuk termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 4 buah di peroleh arus sebesar 0,434 (A), sedangkan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 8 buah sebesar 0,684 (A), dan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 0,934 (A). Untuk termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah diperoleh arus sebesar 1,5 (A), sedangkan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 8 buah sebesar 2,86 (A), dan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 4,4 (A).

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 4 buah memiliki arus terendah sebesar 0,434 (A). Sedangkan arus tertinggi pada termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 4,4 (A). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik generator terhadap arus

Dari gambar 4.2 di atas, kita dapat melihat bahwa semakin banyak jumlah termoelektrik *generator* maka arus yang dihasilkan meningkat. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada sisi panas dan dingin termoelektrik *generator* sehingga menghasilkan tegangan. Ini merupakan prinsip efek seebeck dimana jika termoelektrik *generator* diberi panas pada sisi panas serta dibagian sisi dingin diberi pendinginan sehingga menghasilkan perbedaan temperatur, maka termoelektrik *generator* akan langsung menghasilkan arus.

Arus yang tertinggi diperoleh pada termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 4,4 (A). Hal ini dikarenakan pada susunan paralel, arus yang dibangkitkan total adalah penambahan dari seluruh arus yang dibangkitkan oleh masing-masing termoelektrik *generator*, sedangkan pada susunan seri arus tetap.

4.3 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Daya

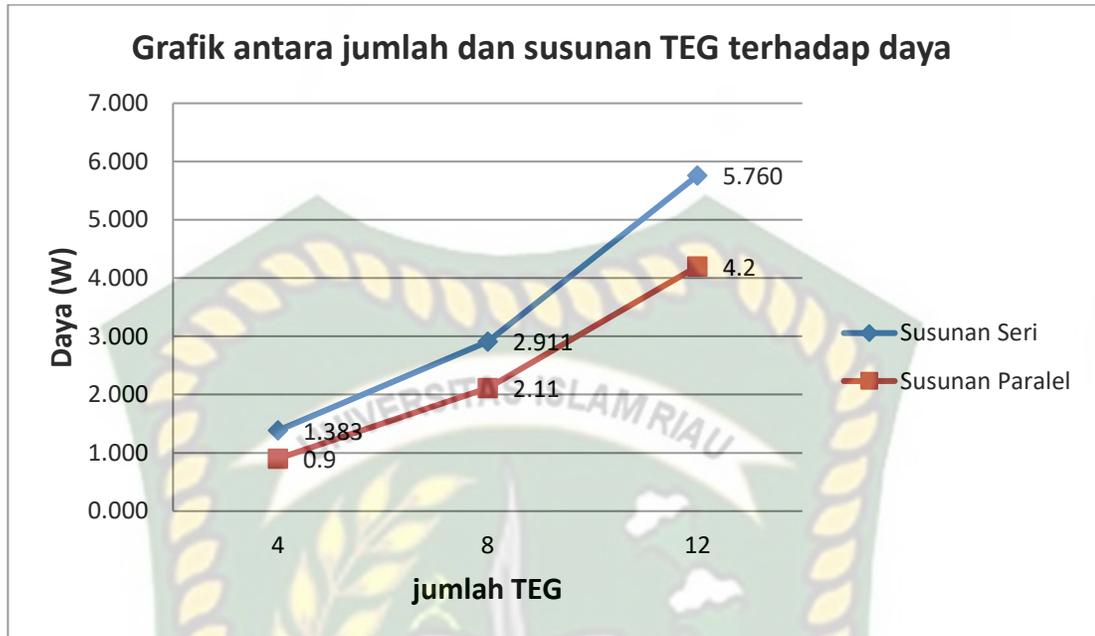
Dari hasil pengujian diketahui bahwa jumlah dan susunan termoelektrik *generator* memiliki pengaruh terhadap daya. Dimana dengan menambah jumlah termoelektrik generator serta susunan yang berbeda maka diperoleh daya yang berbeda seperti terlihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Daya

Susunan	Jumlah TEG	Daya (W)
Seri	4	1,383
	8	2,911
	12	5,76
Paralel	4	0,9
	8	2,11
	12	4,2

Untuk termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 4 buah di peroleh daya sebesar 1,383 (W), sedangkan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 8 buah sebesar 2,911 (W), dan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 5,76 (W). Untuk termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah diperoleh daya sebesar 0,9 (W), sedangkan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 8 buah sebesar 2,11 (W), dan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 4,2 (W).

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah memiliki daya terendah sebesar 0,9 (W). Sedangkan daya tertinggi pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 5,76 (W). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik 4.3.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik generator terhadap daya

Dari gambar 4.3 di atas, kita dapat melihat bahwa semakin banyak jumlah termoelektrik *generator* maka daya yang dihasilkan meningkat. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada sisi panas dan dingin termoelektrik *generator* sehingga menghasilkan tegangan dan arus. Ini merupakan prinsip efek seebeck dimana jika termoelektrik *generator* diberi panas pada sisi panas serta dibagian sisi dingin diberi pendinginan sehingga menghasilkan perbedaan temperatur, maka termoelektrik *generator* akan langsung menghasilkan tegangan dan arus.

Daya yang tertinggi diperoleh pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 5,76 (W). Hal ini dikarenakan daya merupakan perkalian antara tegangan dan arus.

4.4 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Koefisien Seebeck

Dari hasil pengujian diketahui bahwa jumlah dan susunan termoelektrik *generator* memiliki pengaruh terhadap koefisien seebeck. Dimana dengan menambah jumlah termoelektrik generator serta susunan yang berbeda maka diperoleh koefisien seebeck yang berbeda seperti terlihat pada tabel 4.4.

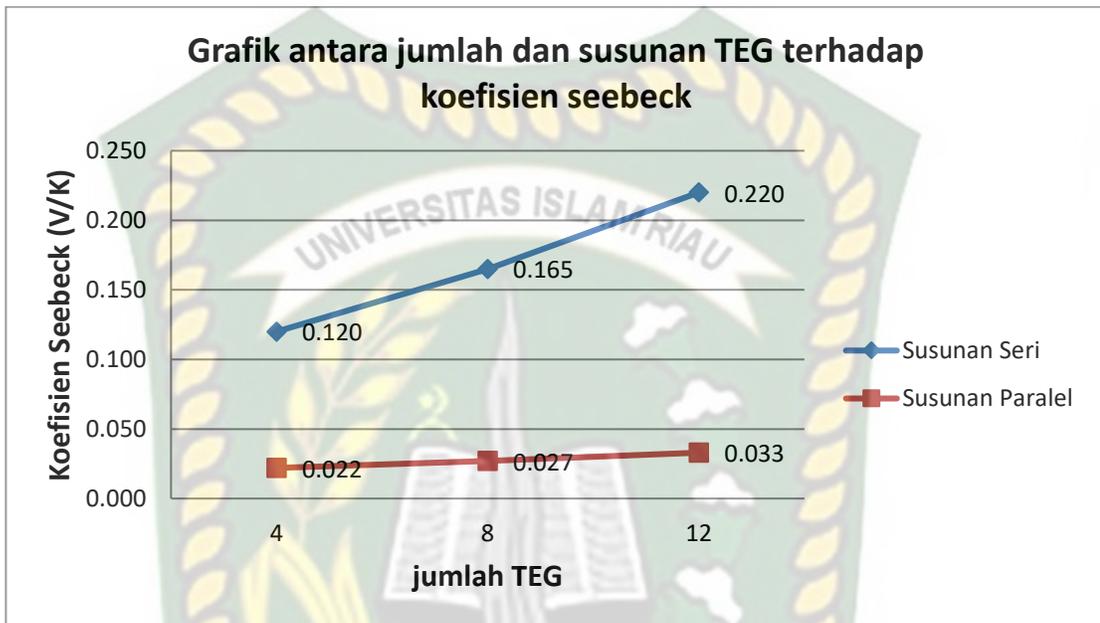
Tabel 4.4 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Koefisien Seebeck

Susunan	Jumlah TEG	Koefisien Seebeck (V/K)
Seri	4	0,12
	8	0,165
	12	0,220
Paralel	4	0,022
	8	0,027
	12	0,033

Untuk termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 4 buah di peroleh koefisien seebeck sebesar 0,12 (V/K), sedangkan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 8 buah sebesar 0,165 (V/K), dan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 0,220 (V/K). Untuk termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah diperoleh koefisien seebeck sebesar 0,022 (V/K), sedangkan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 8 buah sebesar 0,027 (V/K), dan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 0,033 (V/K).

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah memiliki koefisien seebeck terendah sebesar 0,022 (V/K). Sedangkan koefisien seebeck tertinggi pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan

jumlah 12 buah sebesar 0,220 (V/K). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik 4.4.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik generator terhadap koefisien seebeck

Dari gambar 4.4 di atas, kita dapat melihat bahwa semakin banyak jumlah termoelektrik *generator* maka koefisien seebeck yang dihasilkan meningkat. Hal tersebut terjadi karena adanya tegangan yang meningkat serta perbedaan temperatur yang berbeda.

Koefisien seebeck yang tertinggi diperoleh pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 0,220 (V/K). Hal ini dikarenakan koefisien seebeck merupakan pembagian antara tegangan dan beda temperatur.

4.5 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Hasil Pengecasan Dengan Waktu 25 Menit

Dari hasil pengujian diketahui bahwa jumlah dan susunan termoelektrik *generator* memiliki pengaruh terhadap hasil pengecasan pada HP. Dimana dengan menambah jumlah

termoelektrik generator serta susunan yang berbeda maka diperoleh hasil pengecasan yang berbeda seperti terlihat pada tabel 4.5.

Table 4.5 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Hasil Pengecasan Dengan Waktu 25 Menit

Susunan	Jumlah TEG	Hasil Pengecasan (%)
Seri	4	2
	8	4
	12	9
Paralel	4	1
	8	3
	12	6

Untuk termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 4 buah di peroleh hasil pengecasan sebesar 2 (%), sedangkan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 8 buah sebesar 4 (%), dan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 9(%). Untuk termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah diperoleh koefisien seebeck sebesar 1 (%), sedangkan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 8 buah sebesar 3 (%), dan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 6 (%).

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah memiliki hasil pengecasan terendah sebesar 1 (%). Sedangkan hasil pengecasan tertinggi pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 9 (%). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik 4.5.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik generator terhadap hasil pengecasan dengan waktu 25 menit

Dari gambar 4.5 di atas, kita dapat melihat bahwa semakin banyak jumlah termoelektrik *generator* maka pengecasan yang dihasilkan meningkat. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada sisi panas dan dingin termoelektrik *generator* sehingga energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk pengecasan pada HP. Ini merupakan prinsip efek seebeck dimana jika termoelektrik *generator* diberi panas pada sisi panas serta dibagian sisi dingin diberi pendinginan sehingga menghasilkan perbedaan temperatur, maka termoelektrik *generator* akan langsung menghasilkan energi listrik.

Hasil pengecasan yang tertinggi diperoleh pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 9 (%).

4.6 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Efisiensi Generator

Dari hasil pengujian diketahui bahwa jumlah dan susunan termoelektrik *generator* memiliki pengaruh terhadap efisiensi *generator*. Dimana dengan menambah jumlah termoelektrik *generator* serta susunan yang berbeda maka diperoleh efisiensi *generator* yang berbeda seperti terlihat pada tabel 4.6.

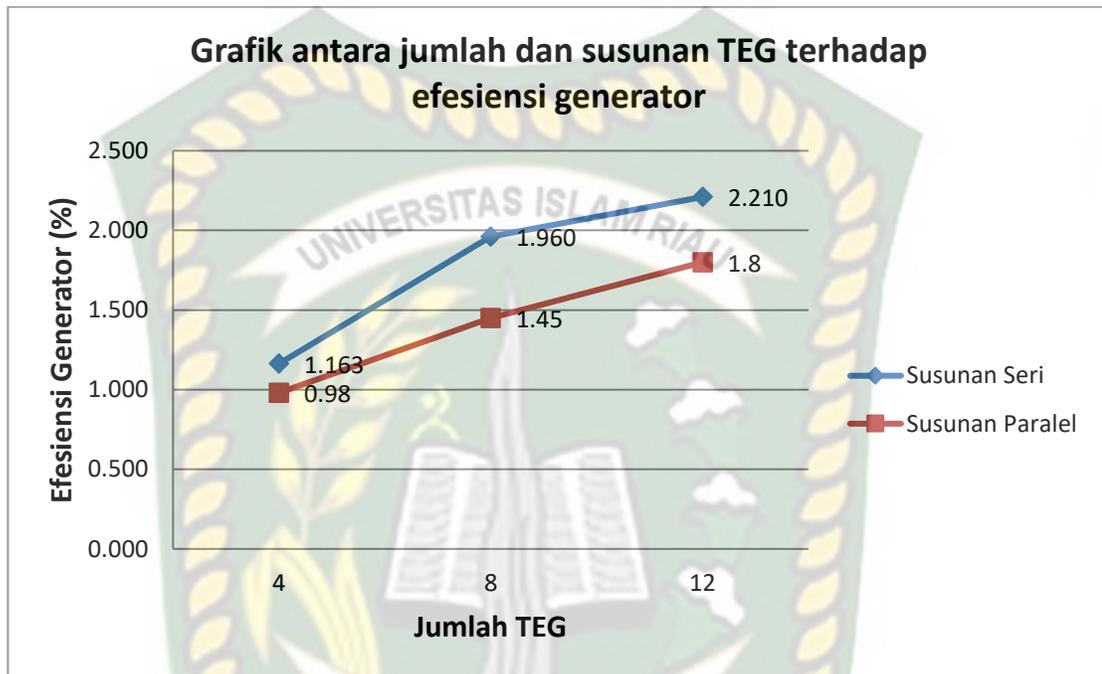
Tabel 4.6 Pengaruh Jumlah Dan Susunan Termoelektrik Generator Terhadap Efisiensi Generator

Susunan	Jumlah TEG	Efisiensi Generator (%)
Seri	4	1,163
	8	1,96
	12	2,21
Paralel	4	0,98
	8	1,45
	12	1,8

Untuk termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 4 buah di peroleh efisiensi *generator* sebesar 1,163 (%), sedangkan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 8 buah sebesar 1,96 (%), dan termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 2,21 (%). Untuk termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah diperoleh efisiensi *generator* sebesar 0,98 (%), sedangkan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 8 buah sebesar 1,45 (%), dan termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 12 buah sebesar 1,8 (%).

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa termoelektrik *generator* susunan paralel dengan jumlah 4 buah memiliki efisiensi generator terendah sebesar 0,98 (%). Sedangkan

efisiensi *generator* tertinggi pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 2,21 (%). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik 4.5.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh jumlah dan susunan termoelektrik generator terhadap efisiensi generator

Dari gambar 4.6 di atas, kita dapat melihat bahwa semakin banyak jumlah termoelektrik *generator* maka efisiensi generator yang dihasilkan meningkat. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada sisi panas dan dingin termoelektrik *generator*. Ini merupakan prinsip efek seebeck dimana jika termoelektrik *generator* diberi panas pada sisi panas serta dibagian sisi dingin diberi pendinginan sehingga menghasilkan perbedaan temperatur, maka termoelektrik *generator* akan langsung menghasilkan energi listrik.

Efisiensi generator yang tertinggi diperoleh pada termoelektrik *generator* susunan seri dengan jumlah 12 buah sebesar 9 (%).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Jumlah dan jenis susunan termoelektrik generator memiliki pengaruh terhadap karakteristik termoelektrik generator.
2. Jumlah dan jenis susunan termoelektrik generator yang memiliki karakteristik yang terbaik, terdapat pada 12 buah termoelektrik generator dengan susunan seri, dimana diperoleh tegangan tertinggi dengan nilai 6,127 (V), daya tertinggi dengan nilai 5,76 (W), koefisien seebeck tertinggi dengan nilai 0,220 (V/K), hasil pengecasan tertinggi dengan nilai 9 %, dan efisiensi termoelektrik generator tertinggi dengan nilai 2,21 %.
3. Perbedaan temperatur pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik generator sangat berpengaruh, dimana semakin besar beda temperaturnya maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan.

5.2 Saran

Penelitian ini masih merupakan penelitian dasar yang memungkinkan adanya penelitian lanjutan, proses pengambilan data dan pengujian masih bisa ditingkatkan. Untuk penelitian selanjutnya yang ingin mengetahui karakteristik termoelektrik generator, sebaiknya menganalisa jumlah termoelektrik generator serta cara untuk mendinginkan sisi dingin termoelektrik generator agar diperoleh beda temperatur yang tinggi dengan waktu pengujian yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- A, R M Agizna. 2009. Pemanfaatan Panas Buang Motor Bakar Dengan Menggunakan *Thermoelectric Generator* Sebagai *Power Supplay* Untuk Proses Elektrolisis. Depok: Universitas Indonesia.
- Ansyori, 2017. Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Menggunakan Metode *Seebeck Effect*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Armansyah, Dian Hadi. 2020. Pemanfaatan Panas Pada Dinding Kompor Gasifikasi Biomassa Menggunakan *Thermoelectric Generator*. Riau: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
- Fiter, 2019. Analisa Pengaruh Campuran Bahan Bakar Pertalite Dengan Naftalena Terhadap Unjuk Kerja Dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Sepeda Motor. Riau: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
- Munis, Kristoforus Agastya dkk. 2013. Karakteristik Generator Termoelektrik. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
- Nugroho, Wisnu Adi dkk. 2015. *Exhaust System Generator* Knalpot Penghasil Listrik Dengan Prinsip Termoelektrik. Semarang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Simatupang, Hendro. 2009. Karakteristik Termoelektrik Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Pendingin Air. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Wahyudi, 2019. Pemanfaatan Air Panas Sebagai Sumber Energi Listrik Menggunakan *Thermoelectric*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Wibowo, Prakoso Ari dkk. 2014. *Thermoelectric Charger* Sebagai Alat Konversi Energi Panas Buang Motor Bakar Menjadi Sumber Energi Listrik. Bogor: Institut Pertanian Bogor

Wardodo, 2016. Studi Karakteristik Pembangkit Listrik thermoelektrik melalui pemanfaatan panas pada knalpot sepeda motor sport 150 cc. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.

Yusuf, Mirza. 2018. Unjuk Kinerja Pembangkit Energi Elektrik Memanfaatkan Limbah Panas Mesin Mobil City Car Menggunakan Modul *Thermoelectric Cooler* (TEC). Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.