

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok yang mendasari segala jenis aktivitas kehidupan manusia. Oleh karena itu penting bagi kehidupan, baik dalam kehidupan sehari-hari maupun aktivitas lainnya. Banyak teknologi yang diusulkan sebagai alternatif pembangkit listrik, seperti sel surya (menggunakan panas matahari), pembangkit listrik berbahan limbah dan masih banyak lainnya, namun penerapannya memerlukan investasi finansial yang besar, persiapan yang matang. Dan perancangan yang membutuhkan waktu lama. Pengujian ini menunjukkan apakah Generator Termoelektrik dapat menghasilkan tegangan atau tidak.

Generator Termoelektrik merupakan suatu alat yang dapat menghasilkan tegangan listrik dengan memanfaatkan daya hantar panas atau daya hantar suatu pelat logam.

Dengan cadangan minyak bumi semakin menipis seiring dengan peningkatan konsumsi sumber energi fosil. Sumber energi listrik alternatif yang baru sangat dibutuhkan untuk mengatasi hal tersebut. Oleh karena itu, penggunaan Termoelektrik Generator (TEG) variasi Peltier diharapkan dapat membantu masyarakat dalam memanfaatkan energi panas yang dihasilkan sebagai sumber listrik yang efisien dan ramah lingkungan.

Berdasarkan penjelasan diatas, dan referensi jurnal – jurnal yang berkaitan, penulis akan melakukan penelitian dan membahas lebih banyak hal-hal yang berkaitan dengan Termoelektrik Generator khususnya pada jenis Termoelektrik Generator MODULE SP 1842-27145 mengenai hubungan antara suhu dan susunan yang diberikan pada Generator Termoelektrik dan variasi rangkaian terhadap *ouput* yang dihasilkan seperti tegangan, daya, arus listrik serta efisiensi Generator Termoelektrik itu sendiri.

Maka dari itu untuk mengetahui bagaimana cara kerja Termoelektrik Generator dan bagaimana apabila Termoelektrik Generator MODULE SP 1842-27145 divariasikan pada suhu dan susunannya, penulis memutuskan untuk membuat penelitian dengan judul “Analisa pengaruh variasi suhu dan rangkaian listrik pada termoelektrik generator module sp 1842-27145 terhadap energi listrik yang dihasilkan dan efisiensi termoelektrik generator”.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini, adapun pokok rumusan masalah yang akan ditulis didalam skripsi ini adalah :

1. Kronologis bagaimana Termoelektrik Generator bisa menghasilkan tenaga listrik dari beda suhu antara sisi panas dan sisi dingin.
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan susunan pada Termoelektrik *Generator* terhadap nilai *ouput* yang dihasilkan?
3. Berapakah suhu, dan susunan manakah yang memiliki nilai *output* terbaik pada Termoelektrik *Generator*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah, sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan peltier jenis thermoelectric Generator MODULE SP 1842-27145 yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik.
2. Suhu sisi panas (T_h) yang diberikan pada saat pengujian hanya pada 40°C , 50°C , 60°C , 70°C , 80°C , dan suhu sisi dingin (T_c) 30°C
3. Pengujian dilakukan dengan susunan seri dan paralel.
4. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *thermometer digital*, dan *multitester*.
5. Hanya Mengukur pada Nilai Tegangan, Daya, Arus dan Efisiensi Termoelektrik Generator

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan susunan pada Termoelektrik *Generator* terhadap nilai *ouput* yang dihasilkan.
2. Memperoleh data kenaikan daya, tegangan dan kenaikan arus terhadap kenaikan suhu.
3. Untuk mengetahui nilai Q_h (Panas yang diserap modul) dan efisiensi Termoelektrik Generator yang dihasilkan dari pemanfaatan energi panas untuk menghasilkan energi listrik.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi masyarakat, hasil dari penelitian ini dapat membantu masyarakat dalam mengetahui cara penggunaan termoelektik *Generator* sebagai alat penghasil energi listrik yang lebih ramah lingkungan.
2. Bagi universitas, hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu kegiatan pembelajaran mahasiswa dalam mempelajari Termoelektik *Generator*.
3. Bagi Pihak lain, hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pembaca maupun sebagai sumber referensi bagi penulisan skripsi yang akan datang.
4. Bagi Penulis, dapat menambah dan memperluas wawasan serta sebagai implementasi ilmu teknik mesin yang dipelajari khususnya pada bidang konversi energi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Termoelektrik

Pada tahun 1821, Thomas Johann Seebeck menemukan bahwa perbedaan atau gradient termal yang terbentuk diantara dua konduktor berbeda menghasilkan tegangan. Perbedaan temperatur pada sebuah material konduktor dapat menyebabkan terjadinya aliran panas. Hal ini menyebabkan terjadinya perpindahan elektron juga. Jika suatu metal dalam sebuah rangkaian dipanaskan pada salah satu sisinya, maka sisi tersebut menjadi aktif dan memiliki kecepatan transfer elektron yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi yang satunya. Hal ini menyebabkan timbulnya perbedaan potensial yang kemudian dapat menghasilkan arus listrik. Fenomena inilah yang kemudian dikenal dengan efek Seebeck atau dikenal juga dengan efek termoelektrik. Bila suatu semikonduktor tipe-p dan tipe-n terhubung dalam suatu rangkaian listrik dan terdapat beban dalam rangkaian tertutup tersebut, maka perbedaan suhu yang diterima pada kedua sisi junction dari dua semikonduktor tersebut, menyebabkan adanya arus listrik yang timbul sebagai akibat perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin jika dikenakan suatu beban dalam rangkaian listrik tersebut. Lalu pada tahun 1834, Jean Charles Athanese Peltier menemukan hal yang berkebalikan dari penemuan Seebeck. Peltier menemukan bahwa jika arus listrik diberikan kepada rangkaian tertutup yang terdiri dari dua konduktor yang berbeda, maka pada rangkaian tersebut terjadi penyerapan kalor pada satu sisi dan pelepasan kalor pada sisi yang

lainnya. Termoelektrik merupakan salah satu teknologi solid state di mana pada termoelektrik ini tidak ada bagian yang bergerak ataupun fluida yang mengalir dan relative lebih ramah lingkungan. Saat ini modul termoelektrik telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi sebagai pendingin termoelektrik atau lebih dikenal dengan TEC dengan memanfaatkan efek Peltier dan 6 sebagai generator termoelektrik atau biasa disebut sebagai TEG yang berfungsi sebagai pembangkit listrik dengan menerapkan efek Seebeck (Bueche,2006).

2.1.1 Efek Termoelektrik

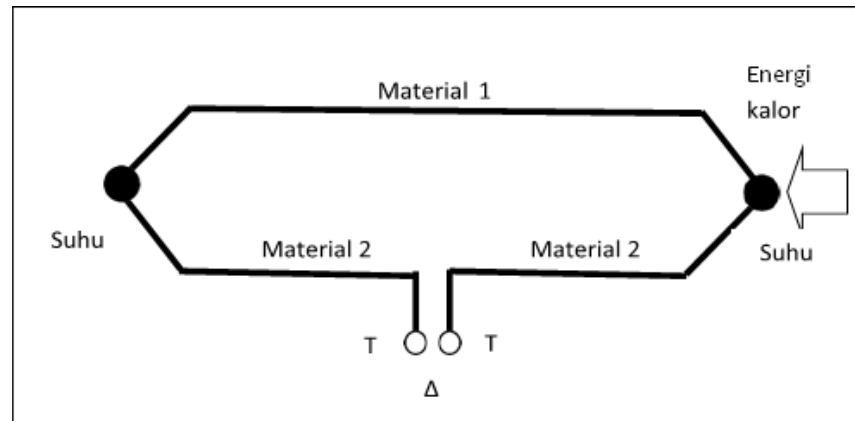
Prinsip dasar termoelektrik adalah jika arus dilewatkan melalui suatu termokopel maka akan timbul 5 efek, 5 efek itu adalah gejala-gejala termal yang terjadi akibat arus listrik yang diberikan. Efek-efek tersebut yaitu :

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 $\mu\text{V/K}$. Satu contoh gabungan antara tembaga dan nikel, mempunyai

koefisien Seebeck $41 \mu\text{V/K}$ pada temperatur ruang.



Gambar 2.1 Efek Seebeck

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 :

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

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 di sambungan A dengan suhu di sambungan B (K)

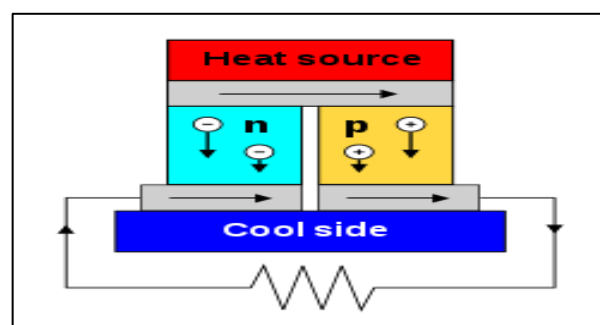
Koefisien Seebeck relatif (α_{XY}) dari rangkaian tergantung dari jenis bahan penghantar. Besarnya nilai koefisien Seebeck relatif ditentukan dari selisih nilai koefisien Seebeck mutlak material pertama (α_X) dengan nilai koefisien mutlak material kedua. Jadi persamaannya dapat dinyatakan dengan persamaan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

Tabel 2.1 Koefisien Seebeck Mutlak pada Materia Logam dan Semikonduktor

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

Adapun skema dari efek seebeck dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah.

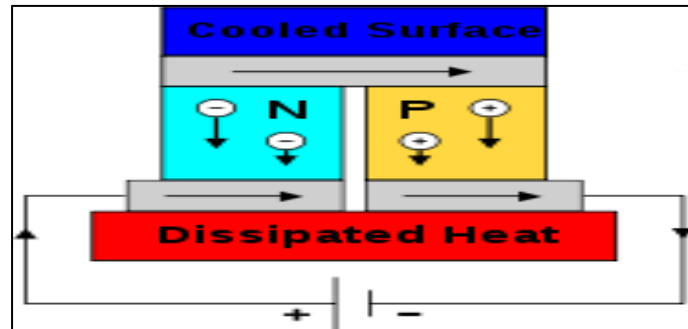


Gambar 2.2 Skema Efek Seebeck

2. Efek Peltier

Efek Peltier adalah teori yang menyatakan bahwa penyerapan panas dapat terjadi pada dua penghantar listrik yang diberi arus listrik pada suhu yang berbeda. Kondisi kedua penghantar adalah terhubung di bagian permukaannya. Rambatan panas yang timbul setiap detik menyebabkan kenaikan suhunya sebanding dengan arus listrik yang mengalir (Gertshen, C., Kneser, H.O., dan Vogel, H. 1996). Efek Peltier ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834. Penyerapan panas dan pelepasan panas pada tingkat subatomik. Efek Peltier hanya terjadi pada dua jenis bahan listrik yang berbeda. Perbedaan tingkat energi material menentukan besarnya efek Peltier. Pengamatan efek Peltier sangat jelas pada semikonduktor tipe p dan tipe n. Elektron dapat berpindah dari material tipe p ke material tipe n dan sebaliknya. Perpindahan dari tipe p ke tipe n menandakan elektron berpindah ke energi yang lebih tinggi untuk menyerap energi di sekitarnya. Sedangkan perpindahan elektron dari bahan tipe n ke bahan tipe p menandakan elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih rendah untuk melepaskan energi ke sekitarnya (Patil, dkk. 2017).

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).



Gambar 2.3 Efek *Peltier*

3. Efek Thomson

Efek Thomson adalah salah satu efek yang terdapat pada efek Termoelektrik yang 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 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). Efek Thomson ini sangat berperan pada keberlangsungan efek Termoelektrik untuk berjalannya Efek Termoelektrik yang terstruktur dan menjadi satu rangkaian Efek yang sesuai dengan rangkaian yang berjalan.

4. Efek Joule

Dengan timbulnya arus listrik akibat adanya efek *Seebeck* pada konduktor dalam rangkaian tersebut, maka akan timbul panas yang disebut efek *Joule*, sifat dari efek tersebut tidak dapat dibalik (*irreversible*). Persamaan efek *Joule* dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q = I^2 \cdot R \quad (2.2)$$

Dimana :

Q = Panas Joule (W)

I = Arus Listrik (A)

R = Hambatan (Ω)

5. Efek Konduksi

Panas akan merambat secara konduksi dari permukaan yang panas ke permukaan yang dingin, perambatan tersebut bersifat *irreversible* dan disebut efek konduksi. Besarnya perambatan dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$Q_c = U (T_1 - T_0) \quad (2.3)$$

Dimana :

Q_c = Laju aliran panas (W/m²)

U = Koefisien konduksi Thermal kedua *junction*

T_1 = Temperatur permukaan panas (K) ²

T_0 = Temperatur permukaan dingin (K)

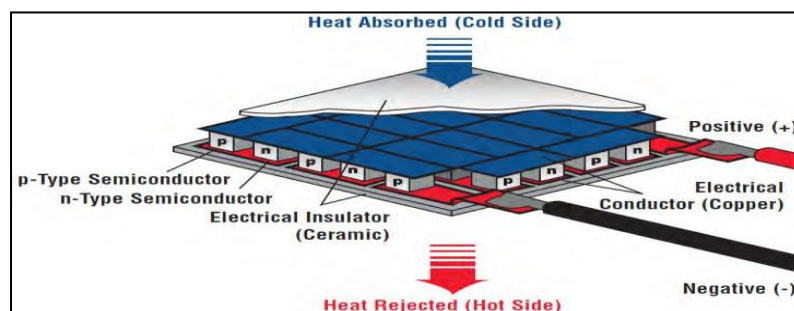
2.2 Termoelektrik Generator

Generator Termoelektrik merupakan sumber alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik. Generator termoelektrik adalah perangkat yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Teknologi Termoelektrik adalah teknologi yang bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik). Selain relatif ramah lingkungan, teknologi ini sangat efisien dan memungkinkan pembangkitan energi dalam skala besar maupun kecil. Generator termoelektrik dapat digunakan pada rumah-rumah pedesaan yang belum memiliki listrik, terutama di daerah yang beriklim tropis. (Sandy Anggriawan Sasmita dkk., 2019). Generator termoelektrik berasal dari teori fisikawan Jerman Thomas Johann Seebeck pada tahun 1826, yang menyatakan bahwa dua bahan semikonduktor yang berbeda jenis, jika setiap permukaan memiliki suhu (gradien) yang berbeda, dapat dihasilkan tegangan (Wahyudi, 2019).

Generator termoelektrik didasarkan pada efek Seebeck. Ketika panas ditambahkan ke sirkuit di persimpangan dua konduktor berbeda, arus listrik dihasilkan. Ini adalah perangkat solid-state dan tidak seperti dinamo, memiliki bagian yang bergerak, sehingga tidak mengeluarkan suara apa pun saat dijalankan. Efek ini ditemukan pada tahun 1826. Thomas Johann Seebeck mengamati bahwa besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan perbedaan suhu dan bergantung pada jenis bahan konduktor, namun tidak dipengaruhi oleh distribusi suhu di sepanjang konduktor (Munis K A et al., 2013).

2.2.1 Kontruksi Termoelektrik Generator

Ada dua jenis semikonduktor, yang berbeda yaitu semikonduktor tipe P dan N. Semikonduktor P mempunyai α_p positif (energi termoelektrik) dan semikonduktor tipe N mempunyai α_p negatif. Setiap seal yang dipasang memiliki permukaan non-logam sebagai permukaan perpindahan panas. Salah satu permukaannya (*Cold spot*) menyerap panas dan berperan seperti evaporator pada sistem kompresi uap, sedangkan *hot spot* membuang panas ke lingkungan seperti kondensor pada sistem kompresi uap dengan menggunakan udara bertekanan (Bastanta 2021).



Gambar 2.4 Kontruksi Termoelektrik

2.2.2 Spesifikasi Termoelektrik Generator

Ada berbagai macam termoelektrik yang ada dipasaran, diantaranya memiliki spesifikasi yang bervariasi dan peruntukan yang berbeda – beda pula namun yang masuk dan ada di Indonesia tidak begitu banyak diantaranya Termoelektrik Generator dengan tipe MODULE SP 1842-27145, TEC1-12705, TEC1-12706. Salah satu model yang ada dipasaran seperti gambar berikut.



Gambar 2.5 Bentuk Termoelektrik Generator

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 termoelektrik tersebut. Adapaun spesifikasinya seperti berikut :

Warna	: putih
Panjang Timbal	: sekitar 30cm
Ukuran	: 40mm x 40mm x 3,4mm
Tegangan operasional	: 12vdc
Max Operating Temp	: 180°C
Min Operating Temp	: - 50°

2.3 Elemen Semikonduktor

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara isolator listrik dan konduktor listrik. Bahan semikonduktor terdiri dari 4 elektron valensi. Jenis bahan semikonduktor yang umum digunakan ialah karbon,

germanium, dan silikon (Listiana, dkk. 2009). Berdasarkan jenis dopingnya, bahan semikonduktor terbagi menjadi dua tipe yaitu tipe P dan tipe N. Suatu semikonduktor bersifat sebagai isolator listrik jika tidak diberi arus listrik dengan cara dan nilai besaran arus listrik tertentu. Namun pada temperatur, arus listrik, tata cara dan persyaratan kerja tertentu, semikonduktor berfungsi sebagai konduktor, misal sebagai penguat arus, penguat tegangan dan penguat daya. Untuk menggunakan suatu semikonduktor supaya bisa berfungsi harus tahu spesifikasi dan karakter semikonduktor itu, jika tidak memenuhi syarat operasinya maka akan tidak berfungsi dan rusak. Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik, karena konduktansinya yang dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut pendonor elektron). Semikonduktor digunakan pada berbagai alat semikonduktor.

Sifat kelistrikan suatu material, termasuk semikonduktor, dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram pita energi. Diagram pita energi menjelaskan bahwa dari sekumpulan atom-atom yang terkumpul rapi membentuk struktur kristal tertentu, hanya ada sejumlah tingkat energi yang dapat ditempati oleh elektron. Elektron akan menempati tingkat energi yang rendah terlebih dahulu. Pita terakhir yang diisi oleh elektron disebut pita valensi. Sejumlah tingkat energi setelah pita valensi disebut pita konduksi. Jarak antara tingkat energi terendah di pita konduksi dan tingkat energi tertinggi di pita valensi disebut celah pita. Pada silikon, celah pita ini bernilai 1.1 eV.

Material semikonduktor yang terdiri dari unsur-unsur yang sama disebut semikonduktor intrinsik. Semikonduktor intrinsik ini memiliki sifat-sifat listrik

tertentu pada suhu tertentu, misalnya jumlah muatan pembawa. Pada aplikasinya, kita ingin merekayasa jumlah muatan pembawa ini dengan cara selain merubah suhu, misalnya dengan melakukan doping pada semikonduktor intrinsik. Semikonduktor intrinsik yang telah terdoping ini disebut semikonduktor ekstrinsik.

Tabel 2.2 Bahan Semikonduktor

Bahan	Resistivitas	koefisien Suhu $\rho(N^2-m), a(C^\circ)^{-1}$
Perak	1.59×10^{-8}	0.0061
Tembaga	1.68×10^{-8}	0.0068
Emas	2.44×10^{-8}	0.0034
Aluminium	2.65×10^{-8}	0.00429
Tungsten	5.6×10^{-8}	0.0045
Besi	9.71×10^{-8}	0.00651
Platinum	10.6×10^{-8}	0.003927
Merkuri	98×10^{-8}	0.0009
Nichrome (paduan Ni, Fe, Cr)	100×10^{-8}	0.0004
Karbon (Grafit)	$(3-60) \times 10^{-8}$	-0.0005
Germanium	$(1-500) \times 10^{-8}$	-0.05
Silikon	0.1 - 60	-0.07
Kaca	$10^9 - 10^{12}$	-
Karet keras	$10^{13} - 10^{15}$	-

2.3.1 Jenis Semikonduktor

Semikonduktor intrinsik yang telah terdoping disebut semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor ekstrinsik dapat dibedakan berdasarkan golongan atom doping, Semikonduktor terbagi menjadi dua jenis, adapun jenis – jenis semikonduktor adalah sebagai berikut

1. Semikonduktor tipe P

Semikonduktor tipe P merupakan semikonduktor dengan jumlah elektron yang sangat sedikit. Bahan pembuatan semikonduktor tipe P adalah campuran atom germanium dan atom indium atau atom-atom lain yang memiliki 3 elektron valensi, e.g., boron, aluminium, galium. Semikonduktor tipe P bermuatan positif karena indium memiliki lebih sedikit elektron dibandingkan dengan germanium (Hasan, M., Fitri, Z., dan Rahmayani, R. F. I. 2017).

2. Semikonduktor tipe N

Semikonduktor tipe N merupakan semikonduktor dengan jumlah elektron yang sangat banyak. Bahan pembuatan semikonduktor tipe N adalah campuran atom germanium dan atom arsen atau atom-atom lain yang memiliki 5 elektron valensi, e.g. fosfor, arsen, antimoni. Semikonduktor tipe N bermuatan negatif karena arsenikum memiliki lebih banyak elektron dibandingkan dengan germanium (Hasan, M., Fitri, Z., dan Rahmayani, R. F. I. 2017).

2.4 *Heatsink dan Coldsink*

Heatsink dan *Coldsink* adalah benda yang berfungsi untuk mengoptimalkan perubahan energi panas menjadi energi listrik pada peltier, yang bekerja dengan cara menjaga suhu pada peltier agar tetap sesuai dengan yang diharapkan.

2.4.1 *Heatsink*

Heatsink ini merupakan logam dengan design yang khusus terbuat dari alumunium dan juga tembaga yang berfungsi untuk memperluas proses transfer panas. Komponen- komponen cpu yang biasanya dipakai untuk menyerap panas

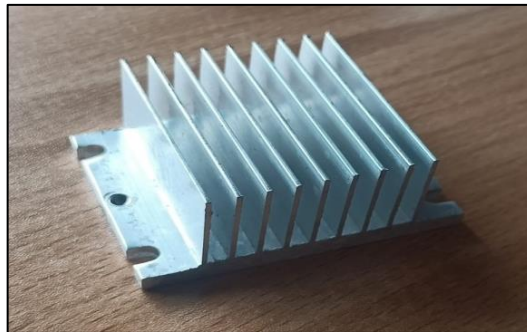
ini biasanya terbuat dari bahan aluminium yang biasanya banyak dipadukan dengan pemakaian fan pada heatsink untuk lebih mengoptimalkan penyerapan panas, *heatsink* digunakan untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. potensi pembangkitan daya dari modul termoelektrik tunggal akan berbeda beda bergantung pada ukuran, konstruksi dan perbedaan temperaturnya. Perbedaan temperatur yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul 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 online dengan harga yang bervariasi, tergantung dari ukuran dan juga kualitas heatsink tersebut. Dibawah ini adalah contoh dari gambar *heatsink* yang digunakan.



Gambar 2.6 *Heatsink*

2.4.2 *Coldsink*

Coldsink digunakan untuk menurunkan atau juga menghilangkan panas yang berada pada peltier. Hal ini dilakukan untuk membuat perbedaan suhu pada peltier dapat menghasilkan listrik yang lebih optimal dan peltier tidak akan mengalami *overheat* yang dapat menimbulkan kerusakan yang fatal pada peltier. Pada saat penggunaannya *coldsink* ini dapat ditambahkan alat pendingin seperti kipas untuk memaksimalkan kinerja pendingin itu sendiri.



Gambar 2.7 *Coldsink*

2.5 Panas

Panas atau bahang, atau kalor dalam istilah fisika, adalah energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Satuan SI untuk panas adalah joule. Panas bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Setiap benda memiliki energi dalam yang berhubungan dengan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusunnya (Kirsten R. Daehler; Jennifer Folsom; Mayumi Shinohara, Juni 2011).

Energi dalam ini berbanding lurus terhadap suhu benda. Ketika dua benda dengan suhu berbeda bergandengan, mereka akan bertukar energi internal sampai

suhu kedua benda tersebut seimbang. Jumlah energi yang disalurkan adalah jumlah energi yang tertukar. Kesalahan umum untuk menyamakan panas dan energi internal. Perbedaannya adalah panas dihubungkan dengan pertukaran energi internal dan kerja yang dilakukan oleh sistem. Mengerti perbedaan ini dibutuhkan untuk mengerti hukum pertama termodinamika (Emma Carlson Berne 15 Januari 2013).

Panas juga 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 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 0K (Wahyudi, 2019).

2.5.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau dikenal juga sebagai perpindahan kalor adalah berpindahnya kalor dari benda dengan suhu tinggi ke benda dengan suhu lebih rendah yang terjadi secara alami. Perpindahan ini mengakibatkan terjadinya pencampuran suhu dari kedua benda tersebut.

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 (Wahyudi, 2019).

Perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga cara :

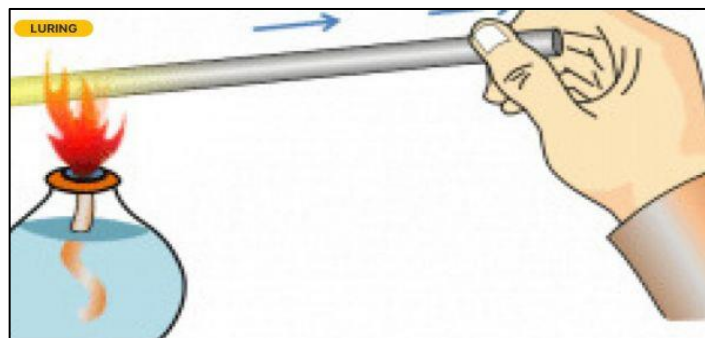
1. Perpindahan panas konduksi

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 (Wahyudi, 2019).

Contoh Perpindahan Konduksi:

1. Membakar ujung besi. Ujung besi yang tidak panas akan menjadi panas.
2. Menyetrika baju

3. Es batu yang meleleh saat dipegang dikarenakan suhu tubuh yang hangat pindah ke es
4. Piring menjadi panas ketika ditaruh makanan panas
5. Knalpot motor yang panas saat mesin dinyalakan



Gambar 2.8 Perpindahan Panas Konduksi

Nilai perpindahan panas secara konduksi dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ Atau } H = k \times A \frac{\Delta T}{l} \quad (2.4)$$

Dimana :

H: perpindahan kalor atau energi yang mengalir dari setiap satuan waktu (J/s atau watt)

k: koefisien konduksi termal (atau daya hantar panas)

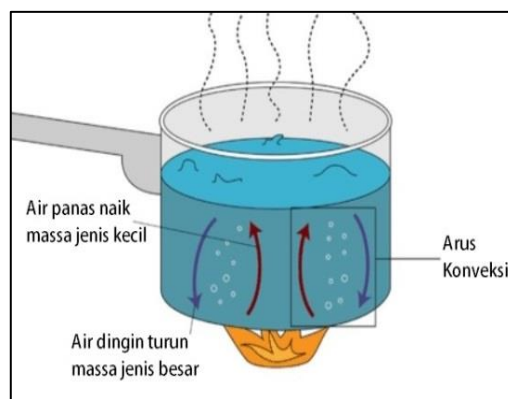
A: luas penampang (m²)

T: selisih temperatur kedua ujung zat perantara atau benda (celcius)

L: panjang zat perantara atau benda (m)

2. Perpindahan panas 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 2.9 Perpindahan Panas Konveksi

Untuk mengetahui nilai perpindahan panas secara konveksi dapat menggunakan persamaan ini :

$$H = h \times A \times \Delta T \quad (2.5)$$

Dimana :

H = Kalor yang mengalir setiap detik

h = Koefisien konveksi termal

A = Luas permukaan fluida

ΔT = Perubahan suhu

3. Perpindahan Panas 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 2.10 Perpindahan Panas Radiasi

2.5.2 Kalor Jenis

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diserap atau diperlukan oleh 1gram 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 J/Kg°C (Wahyudi, 2019).

2.6 Tenaga Listrik

Energi listrik atau tenaga listrik adalah salah satu jenis energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik atau energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan Ampere (A) dan tegangan listrik dengan satuan Volt (V) dengan ketentuan kebutuhan konsumsi daya listrik dengan satuan Watt (W) untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan atau menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain. Energi listrik menjalankan peralatan rumah tangga, peralatan perkantoran, mesin industri, kereta api listrik, lampu umum, alat pemanasan, memasak, dan lain-lain.

Energi yang dihasilkan dapat berasal dari berbagai sumber, seperti air, minyak, batu bara, angin, panas bumi, nuklir, matahari, dan lainnya. Satuan pokok energi listrik adalah Joule, satuan lain adalah KWh (Kilowattjam). Listrik untuk industri dan perumahan dihasilkan dari pembangkit listrik, misalnya: PLTA, PLTB, PLTD (diesel), PLTM, PLTS (surya), PLTU, dan lainnya (Yunus , Amir , Sahidin, Alauddin , Ashadi , Asrul , Sudirman 2023).

2.6.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah ukuran beda potensial antara dua titik dalam rangkaian kelistrikan, dapat pula tegangan diartikan sebagai jumlah energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan listrik dari satu lokasi ke lokasi lain. Satuan dari tegangan adalah Volt atau Voltage yang dilambangkan dengan huruf "V". Volt adalah standar satuan listrik yang digunakan untuk menunjukkan nilai

tegangan dalam rangkain listrik. Tegangan listrik pada rangkaian seri berbeda-beda meskipun kuat arusnya bernilai sama. Sebaliknya, pada rangkaian paralel, tegangan listrik bernilai sama tetapi kuat arusnya berbeda-beda.

2.6.2 Arus Listrik

Arus listrik adalah laju aliran muatan listrik melewati suatu titik atau bagian. Arus listrik dikatakan ada ketika ada aliran bersih muatan listrik melalui suatu bagian, muatan listrik dibawa oleh partikel bermuatan, sehingga arus listrik adalah aliran partikel muatan. Partikel yang bergerak disebut pembawa muatan, dan dalam konduktor yang berbeda mungkin jenis partikel yang berbeda. Di sirkuit listrik, pembawa muatan sering kali elektron yang bergerak melalui kawat. Dalam elektrolit pembawa muatan adalah ion, dan dalam gas terionisasi (plasma) adalah ion dan elektron.

Sistem Satuan Internasional memberikan satuan dari arus listrik yaitu ampere, yang merupakan aliran muatan listrik melintasi permukaan dengan kecepatan satu coulomb per detik. Ampere (simbol: A) adalah unit dasar SI Arus listrik diukur menggunakan perangkat yang disebut ammeter.

2.6.3 Daya Listrik

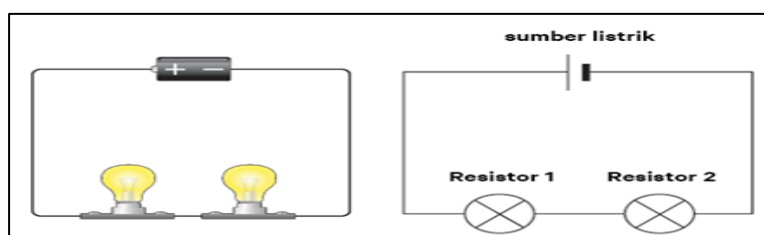
Selain Arus dan Tegangan yang terdapat pada Tenaga listrik ada juga yang dinamakan Daya listrik, Daya listrik adalah besarnya energi listrik yang diserap oleh suatu rangkaian setiap satuan waktu. Semakin besar daya listrik pada suatu rangkaian, semakin besar pula energi yang akan diserap.

2.6.4 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 yang dipakai pada rangkaian listrik karena kabel terbuat dari tembaga yang dapat menghantarkan arus listrik. Lampu adalah beban listrik dan sumber listrik berasal dari baterai. Listrik mengalir melalui kabel dan saklar berfungsi untuk memutus atau menyambungkan aliran listrik. Simbol universal untuk beban listrik adalah hambatan (resistor). Terdapat dua tipe rangkaian yaitu: rangkaian seri dan rangkaian paralel.

1. Rangkaian Seri

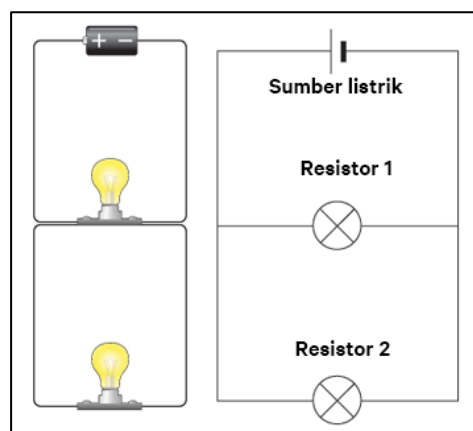
Rangkaian seri merupakan rangkaian listrik yang hambatannya disusun secara bersebelahan/sejajar. Pada rangkaian seri, kuat arus (I) akan mengalir dari sumber energi (baterai) yang ada dari satu hambatan ke hambatan lain melewati satu kabel. Perhatikan, deh, gambar di atas. Lalu, bayangkan ada aliran listrik yang mengalir mulai dari baterai, menuju hambatan/resistor 1, ke hambatan 2, lalu berputar dan kembali ke baterai.



Gambar 2.11 Rangkaian Seri

2. Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel adalah rangkaian listrik yang hambatannya disusun secara bertingkat/bercabang karena terdapat “percabangan”, kuat arus listrik yang diterima oleh hambatan 1 dan hambatan 2 tidak akan sama. Alhasil, kuat arus sumber energinya akan sama dengan jumlah dari seluruh kuat arus semua hambatan.



Gambar 2.12 Rangkaian Paralel

Adapun ciri-ciri rangkaian terhubung paralel, yaitu:

1. Terdiri dari beberapa percabangan
2. Besaran arus percabangan berbeda, apabila bebannya tidak sama
3. Besar tegangan pada masing-masing beban atau peralatan listrik adalah sama dengan sumber tegangan
4. Apabila suatu percabangan terjadi korsleting (hubungan arus pendek) atau pendek, sedangkan percabangan lain tetap terhubung dengan sumber tegangan.

2.7 Persamaan yang Digunakan

Dikarenakan terbatasnya data yang didapat pada proses penelitian dan diperlukannya pengembangan data maka dibutuhkan perhitungan menggunakan persamaan yang berkaitan dengan penelitian ini, dengan persamaan – persamaan ini data dapat diolah dan dikembangkan menjadi data lain yang diperlukan.

Dalam menganalisis kinerja modul termoelektrik, koefisien Seebeck yang menggambarkan tegangan (gaya gerak listrik) timbul karena perbedaan suhu menjadi sangat penting. Koefisien Seebeck dapat dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{T_h - T_c} \quad (2.6)$$

dimana:

ΔV = Perbedaan tegangan (V)

α = Koefisien Seebeck antara dua bahan semikonduktor, P dan N (V/°C)

T_h = Temperatur sisi panas modul (°C)

T_c = Temperatur sisi dingin modul (°C)

Untuk mengetahui nilai panas yang diserap (QH), perpindahan panas melalui zat padat dengan kontak secara langsung tanpa disertai perpindahan molekul zat perantaranya dari sumber panas pada permukaan sisi panas ke permukaan sisi dingin adalah sebagai berikut:

$$Q_h = (\alpha I T_h) + K (T_h - T_c) \quad (2.7)$$

Di mana k adalah konduktivitas termal modul $W/(m \times K)$ yaitu suatu fenomena transport di mana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang di transfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi, dalam hal konduktivitas termal yang digunakan bernilai $1,9 W/(m \times K)$

Untuk mengetahui nilai tegangan listrik (V), daya keluaran (P), dan efisiensi (η) generator termoelektrik adalah sebagai berikut:

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

$$P = I \times V \quad (2.9)$$

$$\eta = \frac{P}{Q_h} \times 100 \quad (2.10)$$

Keterangan:

η = Efisiensi Termoelektrik Generator

Q_h = Panas yang diserap (Watt)

V = Beda potensial atau tegangan listrik (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

R = Hambatan kawat (Ohm = Ω)