

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi listrik tidak akan lepas dari kebutuhan makhluk hidup dalam menjalankan aktifitas sehari-hari. Hal ini berdampak dengan seiring meningkatnya pertumbuhan yang sangat pesat dalam bidang teknologi, kebutuhan energipun akan semakin meningkat, akan tetapi tidak semua sumber energi yang digunakan saat ini dapat diperbarui sehingga seiring berjalannya waktu suatu saat energi ini akan habis. Seperti contoh energi yang tidak dapat diperbarui yaitu energi Konvensional. Energi Konvensional adalah energi yang tersedia dengan jumlah terbatas.

Salah satu contoh energi konvensional yang paling banyak digunakan adalah energi fosil. Energi fosil merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang terjadi akibat adanya penimbunan fosil selama berjuta-juta tahun lamanya. Parahnya energi fosil inilah yang paling banyak digunakan saat ini. Energi fosil seperti batubara mendominasi energi yang paling besar digunakan dengan mencapai 46,7% pada tahun 2013. Dan adapun diagram untuk pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan pertumbuhannya masih rendah (Pradana, A dkk 2021).

Selain itu dengan adanya eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan juga berdampak pada rusaknya lingkungan, untuk itu pengembangan energi alternative yang terbarukan dan ramah lingkungan perlu dilakukan agar dapat

terpenuhi kebutuhan energi dan kelangsungan hidup bagi makhluk hidup. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah energi matahari. Penggunaan energi ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan radiasi cahaya dan suhu panasnya. Dengan menggunakan termoelektrik generator hasil suhu panas yang didapat dari energi matahari dikonversikan menjadi listrik. Hal ini dimasukkan agar dapat memperoleh sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.

Teknologi termoelektrik merupakan alternatif dalam menjawab kebutuhan energi listrik. Namun, pengembangan teknologi Termoelektrik sebagai energi alternatif perlu diperhatikan baik dari pemerintah, industri, perguruan tinggi, dan masyarakat. Bahan termoelektrik atau yang biasa disebut elemen peltier adalah bahan yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung (Termoelektrik *Generator*), atau sebaliknya sebagai penyerap panas (Pendingin Termoelektrik), tanpa menghasilkan gas beracun karbondioksida maupun polutan lain seperti elemen logam berat (Ilham, F. 2021).

Termoelektrik *Generator* telah lama digunakan untuk menghasilkan energi listrik dimana ketika perbedaan temperatur terjadi antara dua logam yang berbeda, elemen peltier ini akan mengalirkan arus sehingga menghasilkan perbedaan tegangan. Prinsip ini dikenal dengan efek *seebeck* yang merupakan fenomena kebalikan dari efek peltier. Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Pada penelitian ini dilakukan berbagai percobaan rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin dengan elemen peltier, hal ini

dilakukan untuk mengetahui rangkaian hubungan sumber panas dan dingin dengan elemen peltier yang lebih optimal dalam menghasilkan energi listrik (Ansyori. 2017).

Berdasarkan peneliti sebelumnya dengan judul ” Analisa Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Diradiasi Oleh Panas Matahari” yang ditulis oleh Felix A.Sigalingging, maka dilakukan penelitian dengan judul “Analisa Jumlah Peltier type TEC1-12706 SR pada Termoelektrik Generator terhadap Tegangan, Arus, Daya listrik dan Efisiensi Termoelektrik” .

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun pokok pembahasan masalah yang akan ditulis didalam skripsi ini adalah

1. Bagaimana proses terjadinya perubahan energi panas menjadi energi listrik ?
2. Bagaimana pengaruh jumlah peltier terhadap *output* ?
3. Berapakah Efisiensi dari Termoelektrik Generator ?
4. Berapakah besar Tegangan, Daya, Arus listrik yang dihasilkan oleh setiap modul?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini menggunakan modul Peltier type TEC1-12706 SR sebanyak 6 buah.
2. Pengujian dilakukan menggunakan konduktor aluminium sebagai *hotsing* dan

*coldsing*.

3. Pengujian dilakukan selama 2 menit , dimana setiap 30detik di ambil data output.
4. Pengujian ini menggunakan rangkaian seri.
5. Penelitian ini mencari nilai *output* yang berupa Tegangan, Arus, Daya, dan Efisiensi listrik.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efesiensi termoelektrik generator.
2. Mengetahui pengaruh jumlah Peltier terhadap *output* yang dihasilkan.
3. Mengetahui hasil Tegangan, Daya, Arus listrik yang dihasilkan setiap modul.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi masyarakat, hasil penelitian ini dapat menyediakan sumber energi listrik alternatif dengan memanfaatkan panas yang terbuang sia-sia.
2. Bagi Universitas, hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu agar dapat tercipta sebuah alat alternatif sebagai penghasil energi listrik dengan pemanfaatan sumber energi yang ramah lingkungan dan membantu pembelajaran mahasiswa dalam mempelajari Termoelektrik 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 terhadap masalah konversi energi khususnya pada alat termoelektrik generator yang dibahas didalam skripsi. .

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Termoelektrik Generator**

Fenomena Termoelektrik pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman Thomas Johan Seebeck. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Diantara logam tersebut lalu diberikan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan jarum kompas ternyata bergerak. Diketahui hal ini terjadi karena aliran listrik yang terjadi pada logam menimbulkan medan magnet. Medan magnet ini yang menggerakkan kompas.

Teknologi Termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung (Generator Termoelektrik), atau sebaliknya dari listrik menghasilkan dingin (pendingin Termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material Termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai (alfiansyah, irfan, 2021)

Sel Termoelektrik secara umum ada dua jenis yaitu efek *Seebeck* dan efek Peltier. Efek *Seebeck* ditemukan oleh fisikawan Jerman Thomas Johan Seebeck sewaktu melakukan eksperimen dengan menggunakan dua material logam yang berbeda yaitu tembaga dan besi. Kedua logam itu dirangkai menjadi sebuah sambungan 8 dimana salah satu sisi logam dipanaskan dan satu sisi logam yang lainnya tetap dijaga pada suhu konstan sehingga arus akan mengalir pada

rangkaian tersebut. Arus listrik yang mengalir akan mengindikasikan adanya beda potensial antara ujung-ujung kedua sambungan. Jarum kompas yang sebelumnya telah diletakkan diantara dua plat tersebut ternyata mengalami penyimpangan atau bergerak hal ini disebabkan adanya medan magnet yang dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yaitu medan magnet yang timbul karena adanya arus listrik pada logam (Ansyori, 2017).

### 2.1.1 Efek Termoelektrik

Efek Termoelektrik merupakan proses perubahan energi panas (perubahan temperatur  $\Delta T$ ) menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi perbedaan temperatur, apabila batang material logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 kutub batang material logam. Elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Maka elektron akan mengalami difusi dari rapat muatan tinggi kerapatan muatan rendah. Dari sisi panas ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan listrik (Pras Ley Bustomy, M. W, 2020).

Jika dasar Termoelektrik adalah jika arus dilewatkan melalui suatu termokopel maka akan timbul 5 efek, efek tersebut adalah gejala-gejala termal yang terjadi akibat arus listrik yang diberikan. Berikut efek tersebut :

#### 1. Efek *Seebeck*

Efek *Seebeck* pertama kali diamati pada tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Dalam pengamatannya ia menggunakan dua bahan semikonduktor yang diberikan suhu yang berbeda. Kondisi yang terjadi panas dipompa ke satu sisi pasangan dan ditolak dari sisi berlawanan. Arus listrik yang dihasilkan sebanding

dengan gradien suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Ketika logam tersebut disambung, maka akan terjadi beda potensial diantara kedua ujungnya.

Koefisien *Seebeck* ( $S$ ) disebut juga daya Termoelektrik, seperti pada persamaan berikut :

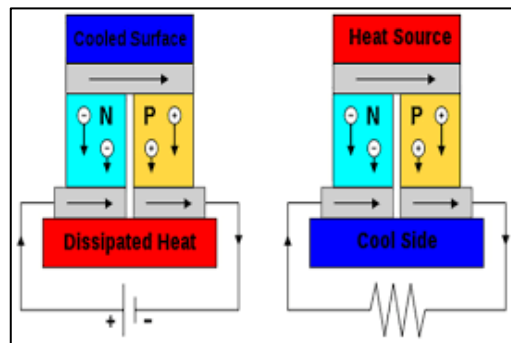
$$S = \frac{v}{\Delta T} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$S$  = Koefisien *Seebeck* (Volt )

$V$  = Potensial termoelektrik terinduksi (Volt)

$\Delta T$  = Temperatur ( K)



Gambar 2.1 Efek *Seebeck*

## 2. Efek Joule

Perpindahan panas dari sisi dalam pendingin ke sisi luarnya akan mengakibatkan timbulnya arus listrik dalam rangkaian tersebut karena adanya efek *Seebeck*, maka hal inilah yang dinamakan efek Joule dan sesuai dengan hukum ohm. Dengan sifat yang tidak dapat dibalik (*Irreversible*), persamaan efek joule dapat ditulis sebagai berikut:



$$Q = I^2 \cdot R \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

Q :Kalor Joule (W)

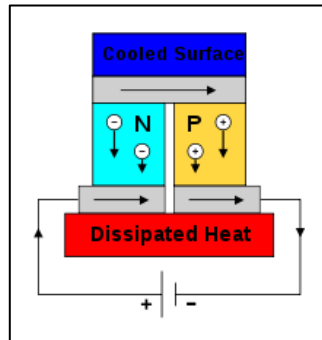
I :Arus listrik (V/K)

R :Hambatan ( $\Omega$ )

### 3. Efek Peltier

Efek Peltier adalah kebalikan dari efek *Seebeck* dimana arus listrik akan menghasilkan perbedaan temperatur (panas dan dingin) pada *Junction* dari dua material logam yang berbeda. Ditemukan pada tahun 1834 oleh fisikawan Perancis, Jean Charles Peltier Athanase berdasarkan inspirasi dari penemuan efek *Seebeck*. Ia mengalirkan arus listrik melalui rangkaian dua logam yang tidak sejenis dan mendapati penurunan temperatur pada salah satu *Junction* sementara pada ujung yang lain mengalami peningkatan temperatur .

Pada saat arus mengalir melalui *Thermocouple, Temperature Junction* akan berubah dan panasakan diserap pada satu permukaan, sementara permukaan yang lainnya akan membuang panas. Jika sumber arus dibalik, maka permukaan yang panas akan menjadi dingin, dan begitu pula sebaliknya. Gejala inilah yang disebut dengan efek Peltier yang merupakan dasar pendinginan Termoelektrik. Dari percobaan yang sudah dilakukan, diketahui bahwa perpindahan panas sebanding dengan arus yang mengalir (Pras Ley Bustomy, M. W, 2020).



Gambar 2.2 Efek Peltier

#### 4. Efek Thomson

William Thomson fisikawan asal Inggris Raya menyelidiki lebih lanjut Termoelektrisitas dan menemukan efek ketiga dari Termoelektrik, efek Thomson. Sebuah konduktor (kecuali superkonduktor) yang dialiri arus listrik dan perbedaan temperaturnya terjaga dapat melepaskan atau menyerap panas di sepanjang konduktor tersebut. Atau bisa dikatakan bahwa terdapat penyerapan atau pelepasan panas bolak-balik dalam konduktor homogen yang terkena perbedaan panas dan perbedaan arus listrik secara simultan.

#### 5. Efek Konduksi

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

$$Q_c = K (T_h - T_c) \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

$Q_c$  = Laju aliran panas  $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

K = Konduktivitas thermal  $\left(\frac{W}{K}\right)$

$T_h$  = Temperatur *hot junction* (°K)

$T_c$  = Temperatur *cold junction* (°K)

## 2.2 Termoelektrik

Termoelektrik adalah sebuah alat yang dapat digunakan sebagai pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari sebuah lempeng logam. Untuk mendapatkan panas tentunya diikuti dengan perpindahan panas sesuai teori Termoelektrik. Perpindahan panas dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam industri proses. Pada kebanyakan pengerjaan, diperlukan pemasukan atau pengeluaran panas untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung.

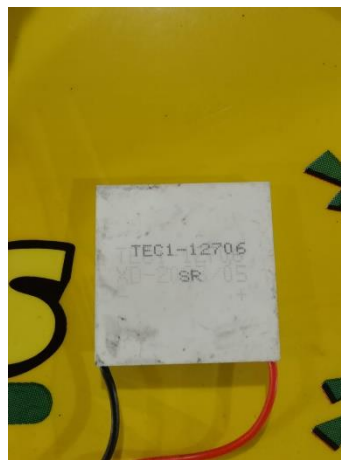
Termoelektrik adalah suatu jenis pembangkit energy yang didasarkan pada efek Seebeck, yang pada intinya dalam system yang ada pada pembangkit Termoelektrik adalah, jikalau dua buah material logam (umumnya semi konduktor) yang kemudian bersambung berada di lingkungan dengan temperature yang berbeda maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik (Rokhim,dkk (2023)).

### 2.2.1 Termoelektrik *Cooler* (TEC)

Thermo Electric *Cooler* (TEC)/Peltier adalah komponen elektronika yang menggunakan efek Peltier untuk membuat aliran panas (*Heat Flux*) pada sambungan (*Junction*) antara dua jenis material berbeda. Komponen ini bekerja dengan memindahkan panas dari satu sisi permukaan ke sisi permukaan lainnya yang berlawanan dengan konsumsi energi elektrik tergantung pada arah aliran

arus listrik. Komponen ini dikenal dengan nama Peltier Device, Peltier Heat Pump, Solid State Refrigerator, atau Termoelektrik *Cooler* (TEC).

Modul TEC biasanya digunakan untuk sistem pendingin, seperti dispenser. Ketika ada aliran arus listrik, electron bergerak dari bahan tipe-p ke bahan tipe-n menyerap energi panas junction sisi dingin. Elektron-elektron membuang kelebihan energi pada *junction* sisi panas (Ilham, F. 2021).

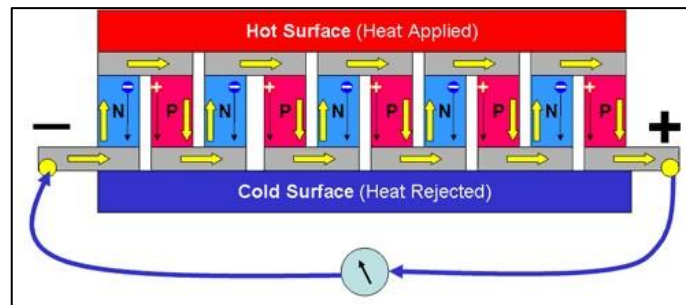


Gambar 2.3 Peltier type TEC1-12706

### 2.2.2 Termoelektrik Generator (TEG)

Termoelektrik Generator merupakan teknologi pembangkit listrik dengan menggunakan energi panas (kalor). Teknologi termoelektrik ini bekerja dengan mengonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (Termoelectric Generator), atau sebaliknya dari listrik menghasilkan dingin (Termoelectric *Cooler*). Sebuah perangkat modul termoelektrik menghasilkan tegangan ketika ada suhu yang berbeda di setiap sisi. Sebaliknya apabila termoelektrik diberi tegangan listrik, maka akan menciptakan perbedaan suhu. Termoelektrik ini pun dapat digunakan sebagai pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan

konduktivitas atau daya hantar panas dari sebuah lempeng logam.



Gambar 2.4 Termoelektrik Generator (TEG)

### 2.2.3 Efisiensi Termoelektrik

Dalam penggunaan aplikasi pembangkit listrik terdapat jumlah maksimum energi yang dapat digunakan. Jumlah ini adalah Efisiensi karnot maksimum. Dalam Termoelektrik perbedaan temperatur yang besar antara sisi panas dan sisi dingin, maka semakin besar daya yang dihasilkan. Efisiensi karnot menggambarkan batas teoritis, jika kita mempunyai mesin kalor yang paling ideal artinya mesin mempunyai efisiensi karnot 100%. Untuk efisiensi termal berbeda, karena selalu lebih kecil dari efisiensi karnot ideal.

Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa tidak semua kalor yang diberikan dalam suatu mesin kalor dapat digunakan untuk melakukan kerja, Efisiensi karnot menetapkan nilai batas pada fraksi kalor yang dapat digunakan. Sebagai perbandingan, pembangkit daya termoelektrik memiliki efisiensi karnot paling rendah yaitu 5-8%. Sementara pembangkit daya lain seperti mesin diesel memiliki efisiensi karnot sebesar 10-15%, turbin gas memiliki efisiensi karnot sebesar 30%. Power Chip diproyeksikan mencapai efisiensi karnot sekitar 70-80%, efisiensi ini adalah yang paling besar dibandingkan dengan pembangkit daya yang lain (Galih Y , dkk . 2019)

Nilai efisiensi modul Termoelektrik dapat ditingkatkan dengan meningkatkan beda suhu antara sisi panas dan dingin TEG. Penggunaan *heatsink*, *fan water jacket*, atau hanya dengan memberi suhu lingkungan diatas sisi dingin TEG dapat dilakukan untuk membuang panas pada sisi dingin TEG sehingga perbedaan suhu sisi-panas dingin TEG meningkat.

Untuk memperoleh nilai efisiensi menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{V.I}{Q_h} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Dimna :

$\eta$  : Nilai efisiensi

V : Teganga (volt)

I : Arus (ampere )

Qh : banyaknya kalor yang masuk

#### 2.2.4 Prinsip Kerja Termoelektrik

Termoelektrik merupakan salah satu teknologi solid state di mana pada Termoelektrik ini tidak ada bagian yang bergerak ataupun fluida yang mengalir dan relative lebih ramah lingkungan. Saat ini modul Termoelektrik telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi sebagai pendingin Termoelektrik atau lebih dikenal dengan TEC dengan memanfaatkan efek Termoelektrik generator dan sebagai generator termoelektrik atau biasa disebut sebagai TEG yang berfungsi sebagai pembangkit listrik dengan menerapkan efek Seebeck (Kholid, Kholid Bin Walid. 2021)

Perbedaan suhu pada Termoelektrik generator didapatkan dengan rumus :

$$\Delta T = T_h - T_c \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$T_h$  = Suhu panas (°C)

$T_c$  = Suhu dingin (°C)

$\Delta T$  = Perbedaan suhu (°C)

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

Berikut cara kerja element Termoelektrik generator :

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

#### 2.2.5 Spesifikasi Peltier

Seperti gambar 2.3 Peltier berikut spesifikasinya:

Model : TEC1-12706 SR

Ukuran : 40mmX40mmX4mm

Beroperasi dari : 0 ~ 15.2V DC dan 0 ~ 6A

Mengoperasikan Suhu	: -30 hingga 70
Konsumsi daya maks	: 60 Wat
Berat bersih	: 22g
Warna	: putih

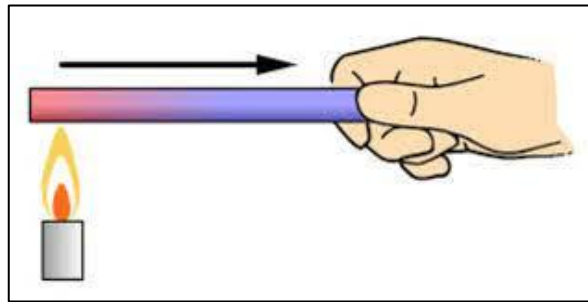
### **2.3 Perpindahan Panas**

Heat transfer atau perpindahan panas merupakan ilmu yang mempelajari perpindahan energy pada material atau benda disebabkan adanya perbedaan temperatur. Perpindahan panas akan terjadi karena perbedaan temperature dari temperature tinggi mengalir pada temperature yang lebih rendah. Cepat lambatnya perpindahan panas biasanya dipengaruhi oleh material atau benda penghantar panas. Semakin baik material tersebut untuk manghantarkan panas maka semakin cepat juga panas akan berpindah ke temperature yang lebih rendah. Ilmu perpindahan panas tidak hanya membahas atau mempelajari bagaimana suatu panas berpindah pada temperature tinggi ke temperature rendah tetapi ilmu perpindahan panas juga mempelajari tentang laju perpindahan panas yang terjadi pada setiap kondisi – kondisi tertentu (Kholid, Kholid Bin Walid, 2021)

#### **2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi**

Perpindahan panas secara Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat atau media fluida yang diam akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut. Pada umumnya bahan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor.

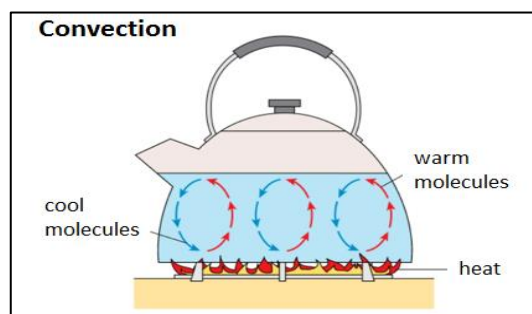




Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konduksi

### 2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

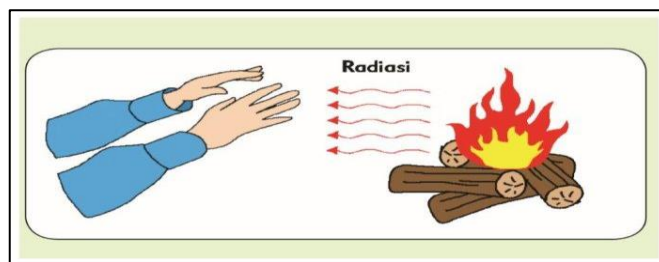
Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).



Gambar 2.6 Perpindahan Panas Konveksi

### 2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi dijelaskan bahwa panas yang berpindah dari suatu benda ke benda lain dipancarkan melalui gelombang elektromagnetik sehingga dalam proses perpindahannya tidak memerlukan medium sama sekali. Bahkan jika kedua benda tersebut dipisahkan oleh ruang hampa, panas akan tetap berpindah melalui pancaran gelombang elektromagnetik



Gambar 2.7 Perpindahan Panas Radiasi

### 2.3.4 Kalor Jenis

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diserap atau diperlukan oleh 1gram zat untuk menaikkan suhu sebesar  $1^{\circ}\text{C}$ . 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  $\text{J}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$  (Wahyudi, 2019).

## 2.4 Elemen Semikonduktor

Material semikonduktor merupakan komponen yang sangat penting dalam pembuatan termoelektrik yang berfungsi sebagai pengubah energi panas menjadi energi listrik. Terdapat dua jenis material semikonduktor, yang pertama yaitu tipe-p dan yang kedua tipe-n. Material semikonduktor yang disebut tipe-p jika

memiliki pembawa muatan yang bernilai positif sedangkan disebut tipe-n jika memiliki pembawa muatan yang bernilai negatif (Kholid, Kholid Bin Walid, 2021)

#### 2.4.1 Jenis Semikonduktor

Semikonduktor intrinsik yang telah terdoping disebut semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor ekstrinsik dapat dibedakan berdasarkan golongan atom doping.

##### 1. 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.

##### 2. 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.

#### 2.4.2 Karakteristik Aluminium

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan yang dinamakan aluminium oksida yang membuat aluminium ini mempunyai sifat tahan korosi yang baik pada lingkungan

luas termasuk udara, air (termasuk air garam), dan beberapa sistem kimia dan tidak bereaksi dengan asam ataupun bahan kimia lainnya yang terdapat pada makanan, oleh karena itu aluminium banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan alat-alat rumah tangga. Aluminium merupakan konduktor listrik dan konduktor panas yang baik. Aluminium sendiri memiliki struktur *kristal Face Center Cubic* (FCC) yang mempunyai massa jenis yang rendah yaitu  $2,7 \text{ g/cm}^3$  yang hanya sepertiga kalau dibandingkan dengan massa jenis dari tembaga  $8,93 \text{ g/cm}^3$  atau kuningan  $8,53 \text{ g/cm}^3$ , dengan titik leleh  $660,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mempunyai konduktivitas termal  $206 \text{ W/m. }^\circ\text{C}$ , hantaran listrik koefisiensi temperatur yaitu  $0,0042 \text{ per }^\circ\text{C}$ . Aluminium mudah dibentuk karena mempunyai sifat yang ulet, mudah dimesin dengan kekuatan tarik aluminium murni hanya  $9 \text{ km/mm}^3$ , untuk itu jika aluminium digunakan sebagai penghantar listrik atau panas yang dimensinya cukup besar, aluminium selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium (yulianti, 2016).

## **2.5 Energi Listrik**

Energi listrik adalah salah satu energi yang diciptakan melalui aliran listrik. Secara umum, energi listrik di definisikan sebagai sebuah energi utama yang diperlukan oleh peralatan listrik agar bisa menyalakan beberapa alat lainnya hingga difungsikan sebagaimana mestinya.

Energi listrik juga diartikan sebagai energi yang asalnya dari muatan listrik hingga bisa menghasilkan medan listrik yang baik.

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 (Rafika, H. dkk 2017)

Energi listrik tersimpan dalam bentuk arus dan tegangan listrik yang nantinya dipindahkan dan dapat diubah sebagai bentuk energi lainnya dan bisa diubah menjadi listrik

### 2.5.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial/ listrik diantara dua titik. Tegangan listrik juga sebanding dengan jumlah dari energi potensial listrik dibagi dengan muatan listrik. Salah satu penyebab dari adanya arus listrik adalah tegangan, atau dapat dikatakan bahwa muatan listrik hanya bisa mengalir jika terdapat tegangan di dalamnya. Lalu apa itu tegangan listrik? Tegangan listrik juga disebut dengan potensial listrik, merupakan “dorongan” listrik yang dapat diberikan kepada elektron yang mengalir pada rangkaian.

Dorongan tersebut adalah gaya gerak listrik (GGL) adalah energi milik arus listrik yang seolah-olah berfungsi sebagai gaya penggerak muatan listrik

dalam rangkaian. GGL dapat dihasilkan oleh sumber tegangan listrik. Semakin besar tegangan dari suatu sumber maka semakin besar pula gaya gerak listriknya.

Sederhananya, tegangan listrik dapat dianalogikan dengan dua gelas yang diletakkan dengan ketinggian berbeda (memiliki beda potensial) maksudnya adalah jika kedua gelas diletakan sejajar tanpa adanya beda potensial maka tidak akan ada tegangan karena aliran elektron tidak dapat mengalir sedangkan saat posisi salah satu gelas semakin tinggi maka semakin besar pula aliran elektron tersebut. Jumlah perbedaan berapa banyak energi potensial yang ada untuk mengalirkan elektron tersebut dari titik satu ke titik lain disebut dengan volt atau tegangan (Rizaldi, R., & Edahwati, L. 2022)

Rumus tegangan listrik adalah sebagai berikut :

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

V : Tegangan ( Volt )

I : Arus Listrik ( Ampere )

R : Hambatan ( Ohm )

### 2.5.2 Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran dari muatan listrik dari satu titik ke titik yang lain. Arus listrik terjadi karena adanya media penghantar antara dua titik yang mempunyai beda potensial. Semakin besar beda potensial listrik antara dua titik tersebut maka semakin besar pula arus yang mengalir. Dari aliran arus listrik inilah diperoleh tenaga listrik yang disebut dengan daya.

Kecepatan perpindahan arus listrik diklaim menggunakan laju arus yang dapat ditulis menggunakan I dengan satuan Ampere. Arus listrik tadi terjadi Bila muatan listrik tersebut mengalir setiap detik, sebagai akibatnya ada persamaan muatan listrik, arus listrik, serta ketika, dengan rumus menjadi berikut:

$$I = Q/t \text{ atau } Q = I \times t \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

I = kuat arus listrik (A)

Q = Banyaknya muatan Listrik (Coulomb)

T = waktu (s)

Berdasarkan arah alirannya, arus listrik dibedakan menjadi dua jenis yaitu arus searah dan arus bolak-balik. Arus searah sering disebut dengan DC yang merupakan singkatan dari *Direct Current*. Sedangkan arus bolak-balik sering disebut dengan AC singkatan dari *Alternating Current*.

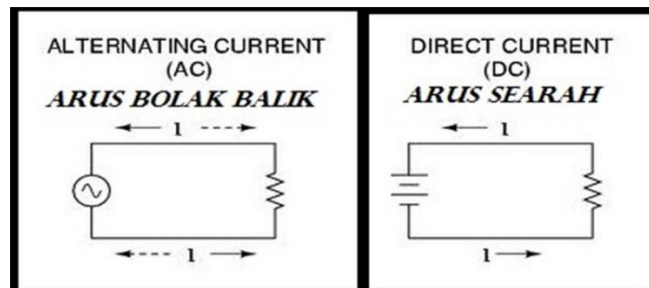
#### 1. Arus Searah (DC)

Arus searah mengalir secara searah dari titik yang memiliki potensial tinggi ke titik yang memiliki potensial lebih rendah. Meskipun sebenarnya yang mengalir adalah elektron (muatan negatif) namun disepakati bahwa yang mengalir adalah arus positif, dari kutub positif ke kutub negatif. Jika dilihat bentuk gelombangnya dengan oscilloscope, arus searah terlihat sebagai garis lurus.

#### 2. Arus Bolak-balik (AC)

Sedangkan arus bolak-balik memiliki aliran arus yang berubah-ubah arahnya. Perubahan arah arus bolak-balik ini mengikuti garis waktu sehingga jika dilihat dengan oscilloscope, arus bolak-balik membentuk sebuah gelombang

dengan frekuensi tertentu. Bentuk gelombang arus bolak-balik ada yang beraturan dan tidak beraturan. Contoh bentuk gelombang arus bolak-balik yang beraturan adalah sinus, kotak dan gigi gergaji. (Rosman, A. Dkk 2019)



Gambar 2.8 Arus AC/DC

### 2.5.3 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. Contoh mudahnya, daya listrik di rumahmu 900 Watt, lalu kamu membeli kompor induksi yang dayanya 1.300 Watt. Kira-kira, apa yang akan terjadi? Sudah pasti, kompor induksi tidak akan nyala dan listrik di rumahmu akan mati karena energi listrik yang diserap kompor induksi jauh lebih besar dari energi listrik yang tersedia di rumahmu.

Jika nilai Tegangan (V) dan Arus (I) telah didapatkan, maka besar daya TEC dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$P = I \times V \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

P : Daya (Whatt)

I : Arus (Ampere)

V : Tegangan (Volt)



Watt adalah satuan internasional (SI) untuk daya listrik. Satuan ini diambil dari nama penemunya, yaitu James Watt.

1 Joule/s

Daya listrik merupakan hasil pembagian antara energi listrik yang bersatuan Joule dan waktu yang bersatuan sekon. Itulah mengapa, daya juga bisa dinyatakan sebagai Joule/s, dengan  $1 \text{ Joule/s} = 1 \text{ Watt}$ .

2. VA

Di persamaan kedua, rumus daya dinyatakan sebagai  $P = VI$ . Oleh sebab itu, satuan dayanya juga bisa dinyatakan sebagai VA, dengan V satuan Tegangan (V) dan A satuan dari kuat Arus listrik (I), di mana  $1 \text{ VA} = 1 \text{ Joule/s} = 1 \text{ Watt}$ .

3. HP

HP atau horse power atau tenaga kuda merupakan satuan daya yang digunakan pada masa lalu. Satuan ini mengacu pada perbandingan kemampuan mesin uap dan tarikan kuda, di mana  $1 \text{ HP} = 745,7 \text{ Watt}$ .

#### 2.5.4 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.

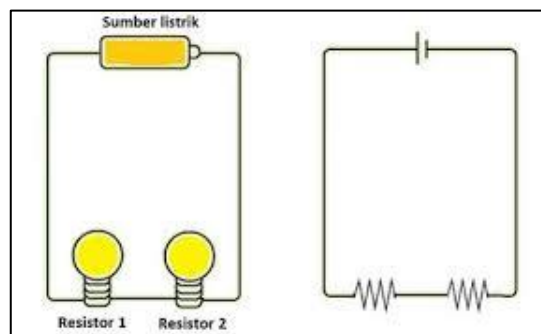
Elektron dapat mengalir pada material penghantar arus listrik yakni konduktor. Oleh karena itu kabel dipakai pada rangkaian listrik karena kabel terbuat dari tembaga yang dapat menghantarkan arus listrik. Tempat dimana elektron masuk ke dalam rangkaian listrik dinamakan dengan sumber listrik.

Setiap benda yang memakai listrik untuk penggunaannya disebut sebagai beban listrik (A. Supriadi Saleh dan Amal B, 2018)

### 1. Rangkaian Seri

Rangkaian seri adalah sebuah rangkaian elektronik atau listrik yang proses penyusunan rangkaiannya dilakukan dengan menggunakan cara berurutan. Komponen yang ada di dalam rangkaian tersebut, disusun dengan satu jalur. Oleh sebab itu, seluruh komponen yang ada di dalamnya dapat dialiri oleh arus listrik. Prinsip kerja dari rangkaian seri adalah jika dalam rangkaian listrik tersebut diberi dua lampu, kemudian ada satu sakelar dan sakelar tersebut dimatikan, maka kedua lampu pun akan ikut mati.

Hal ini tentu berbeda dengan cara kerja dari rangkaian paralel. Sebab, rangkaian paralel adalah sebuah rangkaian elektronik atau listrik yang proses penyusunannya dilakukan dengan cara bersusun atau sejajar.



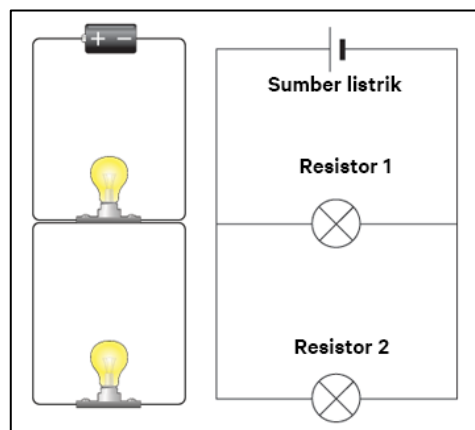
Gambar 2.9 Rangkain Seri

### 2. Rangkaian Pararel

Rangkaian paralel merupakan jenis rangkaian listrik yang dihubungkan secara sejajar untuk membentuk rangkaian bercabang. Biasanya dijumpai pada sirkuit listrik atau rangkaian listrik. Adapun yang dimaksud rangkaian listrik

adalah jalur yang tersusun dari berbagai macam komponen, untuk mengalirkan arus listrik dari sumbernya ke berbagai perangkat.

Menurut Anang Supriadi Saleh dan Amal Bahariawan dalam Buku Ajar Energi dan Elektrifikasi Pertanian (2018), rangkaian paralel adalah rangkaian listrik yang disusun berderet (paralel). Rangkaian paralel adalah rangkaian listrik yang dibentuk oleh beberapa komponen dan dihubungkan dalam beberapa cabang. Arus yang diterima tiap cabang, lebih besar dibanding arus dalam rangkaian seri. Sehingga komponen penyusunnya mendapat arus lebih baik.



Gambar 2.10 Rangkaian Pararel

## 2.6 Multimeter Digital

Multimeter digital adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur besaran seperti tegangan, arus, dan hambatan dalam rangkaian listrik. Selain itu, juga sebagai alat uji elektronik yang mengukur tegangan AC/DC dengan memberikan pembacaan dalam mode numerik digital. Multimeter memiliki ukuran kecil, ringan, dan juga menggunakan baterai.

Multimeter digital ini memiliki akurasi yang tinggi dengan kegunaan yang lebih banyak. Multimeter ini biasa dipakai pada penelitian atau pekerjaan mengukur kecermatan tinggi. Namun kekurangannya adalah sulit memonitor tegangan yang tidak stabil.



Gambar 2.11 Multimeter XL380I

### 2.6.1 Jenis Multimeter

Multimeter terbagi menjadi dua jenis yaitu multimeter analog dan multimeter digital. Perbedaan antara multimeter analog dan multimeter digital terletak pada tingkat ketelitian nilai pengukuran yang diperoleh. Multimeter dapat digunakan untuk pengukuran listrik arus searah maupun pengukuran listrik arus bolak-balik.

#### 1. Multimeter Analog

Multimeter analog merupakan jenis multimeter yang menggunakan display ukur (meter) dengan tipe jarum penunjuk. Sehingga untuk membaca hasil ukur harus dilakukan dengan cara melihat posisi jarum penunjuk pada meter dan melihat posisi saklar selektor pada posisi batas ukur kemudian melakukan perhitungan secara manual untuk mendapatkan hasil ukurnya. Kondisi atau proses

pembacaan hasil ukur yang masih manual inilah yang menyebabkan multimeter atau multimeter jenis ini dinamakan sebagai multimeter analog.

## 2. Multimeter Digital

Multimeter digital atau sering juga disebut sebagai digital multimeter merupakan jenis multimeter yang telah menggunakan display digital sebagai penampil hasil ukurnya. Hasil ukur yang ditampilkan pada multimeter digital merupakan hasil yang telah sesuai, sehingga tidak perlu dilakukan lagi perhitungan antara hasil ukur dan batas ukur.

Multimeter Digital lebih sering digunakan karena jauh lebih mudah dan akurat. Hasil pengukurannya dapat dengan mudah dibaca pada layar digital yang tertera. Nama lain dari multimeter jenis ini adalah DVOM ( Digital Volt Ohm Meter) atau DMM (Digital Multi Meter). Selain dapat mengukur tegangan, hambatan, serta arus listrik, alat ukur ini juga dapat digunakan untuk pengukuran pada Hfe transistor yang ada pada tipe-tipe tertentu saja

### 2.6.2 Fungsi Multimeter

Fungsi multimeter sebagai berikut :

#### 1. Mengukur Arus Listrik

Fungsi multimeter digital dan analog yang pertama yakni adalah berfungsi untuk mengukur arus listrik. Alat ukur ini memiliki dua jenis ampere yakni arus arus DC (*Direct Current*) dan arus AC (*Alternating Current*).

Pada fungsi ampere meter ini saklar selektor berfungsi sebagai batas ukur maksimum, oleh karena itu arus yang akan diukur harus diprediksikan dibawah

batas ukur multimeter yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan pada multimeter.

## 2. Mengukur Tegangan Listrik

Fungsi multimeter digital dan analog selanjutnya yakni dapat mengukur tegangan listrik. Umumnya, setiap multimeter memiliki saklar selector berfungsi sebagai penentu batas maksimum pengukuran. Sehingga, dapat diperkirakan dahulu tinggi tegangan dari suatu rangkaian listrik.

## 3. Mengukur Hambatan Listrik

Fungsi multimeter digital dan analog berikutnya yakni adalah dapat mengukur hambatan listrik. Pada fungsi tersebut, untuk multimeter analog saklar selektor berfungsi sebagai multiplier sedangkan pada fungsi multimeter digital saklar selektor berfungsi sebagai batas ukur maksimum suatu resistansi yang dapat dihitung oleh multimeter tersebut.

## 4. Fungsi Hfe

Hfe Meter tidak selalu terdapat pada setiap multimeter, fungsi Hfe meter ini digunakan untuk mengetahui nilai faktor penguatan transistor. Pada fungsi ini pada umumnya multimeter yang memiliki fungsi Hfe meter dapat digunakan untuk mengukur faktor penguatan transistor tipe NPN dan PNP.

## 5. Mengukur Nilai Kapasitansi

Fungsi multimeter digital dan analog yang berikutnya yakni adalah berfungsi untuk mengukur nilai kapasitansi. Multimeter mampu mengukur nilai kapasitansi pada kapasitor. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan menggunakan tipe digital maupun analog.

Pada multimeter analog yang telah memiliki fungsi kapasitansi meter saklar selektor berfungsi sebagai multiplier atau faktor pengali dari nilai yang ditunjukkan oleh jarum meter. Sedangkan pada multimeter digital dengan fungsi kapasitansi meter maka saklar selektor berfungsi sebagai batas ukur maksimum.

#### 6. Mengukur Frekuensi Sinyal

Fungsi multimeter digital dan analog berikutnya yakni adalah berfungsi untuk mengukur frekuensi sinyal. Frekuensi meter hanya terdapat pada tipe multimeter digital tertentu. Fungsi frekuensi meter ini digunakan untuk mengetahui frekuensi suatu sinyal atau isyarat pada suatu rangkaian elektronika.

### **2.7 Termometer Inframerah**

Termometer Inframerah adalah termometer yang menyimpulkan suhu dari sebagian radiasi termal (terkadang disebut radiasi benda-hitam) yang dipancarkan oleh objek yang diukur. Termometer ini juga kadang disebut termometer laser karena menggunakan laser untuk membantu mengarahkan termometer, serta termometer nonkontak atau termometer pistol untuk menggambarkan kemampuan perangkat ini untuk mengukur suhu dari jarak jauh. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisivitasnya, suhu suatu objek dapat diketahui dalam kisaran tertentu dari suhu aktualnya. Termometer Inframerah merupakan bagian dari perangkat yang dikenal sebagai "Termometer radiasi termal".

Termometer Inframerah sering kali digunakan ketika objek yang akan diukur bergerak; ketika objek dikelilingi oleh medan elektromagnetik, seperti

pada pemanasan induksi; ketika objek terkandung dalam ruang hampa udara atau atmosfer terkontrol lainnya; atau ketika respons cepat diperlukan untuk mengukur suhu permukaan secara akurat, atau ketika suhu objek berada di atas batasan suhu yang disarankan untuk sensor kontak, atau ketika sentuhan fisik dapat merusak objek atau sensor atau dapat memengaruhi gradien suhu yang signifikan pada permukaan objek.



Gambar 2.12 Termometer Inframerah

## 2.8 Rumus yang Digunakan

Bahan Termoelektrik merupakan semikonduktor yang merupakan benda padat ataupun logam yang mempunyai nilai diantaranya nilai resistansi konduktor dan isolator. Permukaan dingin menyerap panas dari produk yang dikondisikan, bagian ini mempunyai fungsi yang sama dengan evaporator pada sistem pendinginan kompresi uap. Permukaan panas mengeluarkan atau membuang panas ke luar, bagian ini mempunyai fungsi yang sama dengan kondensor

Koefisien *Seebeck* dapat dinyatakan oleh persamaan berikut:



$$\alpha = \frac{\Delta V}{T_h - T_c} \dots\dots\dots (9)$$

Di mana:

$\Delta V$  = Perbedaan tegangan (V)

$\alpha$  = 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)

Sementara arus listrik yang dihasilkan diberikan oleh persamaan berikut:

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{R_i + R_L} = \frac{\alpha (T_h - T_c)}{R_i + R_L} \dots\dots\dots (10)$$

Di mana:

I = Arus Listrik yang Mengalir Pada Rangkaian (A)

$R_i$  = Tahanan Internal Modul Termoelektrik ( $\Omega$ )

$R_L$  = Tahanan Eksternal ( $\Omega$ )

Tegangan Listrik (V), Daya (P), dan Efisiensi ( $\eta$ ) Generator termoelektrik adalah sebagai berikut:

$$V = I \times R \dots\dots\dots (11)$$

$$P = I \times V \dots\dots\dots (12)$$

$$\eta = \frac{P}{Qh} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

V = Beda Potensial atau Tegangan Listrik (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

R = Hambatan Kawat (Ohm =  $\Omega$ )

$Q_h =$  Banyaknya Kalor yang Masuk (kalor)