

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator Termoelektrik

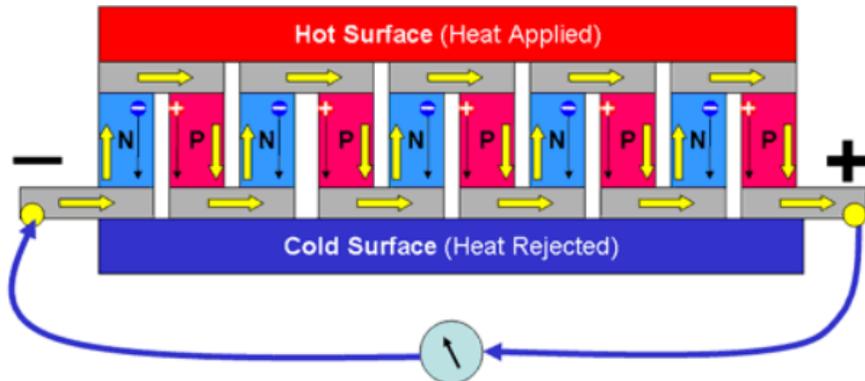
Generator Termoelektrik (TEG) merupakan sebuah perangkat yang mampu mengubah energy panas dengan perbedaan temperature menjadi energy listrik secara langsung, namun ada tipe termoelektrik lain yang dapat menghasilkan udara dingin yang biasa disebut dengan pendingin termoelektrik yang biasa digunakan pada mesin pendingin untuk mendinginkan minuman ataupun makanan. Untuk mendapatkan listrik perangkat termoelektrik cukup diletakkan atau ditempelkan pada rangkaian sedemikian rupa yang terhubung dengan sumber panas dan dingin. Prototipe yang telah dirancang tersebut dapat menghasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis dan jumlah banyaknya termoelektrik yang digunakan.

Pada system kerja pendingin termoelektrik tidak jauh beda dengan generator termoelektrik. Saat komponen termoelektrik disalurkan oleh listrik, maka panas yang berada disekitarnya akan diserap. Dengan demikian untuk mendapat suhu udara yang dingin tidak perlu menggunakan kompresor pendingin seperti pada mesin – mesin pendingin konvensional. Pada umumnya bahan yang digunakan pada pendingin termoelektrik merupakan bahan yang mempunyai sifat konduktivitas listrik yang berada pada isolator dan konduktor atau bahan setengah penghantar listrik yang biasa disebut bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor tersebut terdiri dari dua susunan tipe elemen, yaitu elemen tipe – n (material dengan kelebihan elektron) dan untuk tipe yang satunya adalah tipe – p (material dengan kekurangan electron) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Bahan semikonduktor yang sering digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik.

Pada dasarnya generator termoelektrik terdiri dari tiga komponen dasar menurut (Vasquez,dkk.2002) yaitu :

- a. Struktur penompang , yaitu tempat dimana komponen termoelektrik diletakkan, sebagaimana peneliti meletakkan di dalam aliran gas buang dan beberapa dengan hanya memanfaatkan panas dinding saluran gas buang untuk menghindari adanya *back pressure* aliran gas buang.
- b. Komponen termoelektrik yang tergantung pada jangkaun suhu, material termoelektrik yang dapat digunakan dapat berupa bahan *silicon ghermanium*, *lead telluride*, dan *bismuth telluride*.

- c. Sistem disipasi panas, yang mengatur transmisi panas melalui modul termoelektrik.



Gambar 2.1 Struktur Pembangkit Daya Termoelektrik

2.1.1 Prinsip Kerja Termoelektrik

Termoelektrik generator adalah salah satu perangkat yang bisa disebut *solid state* karena istilah ini pada semua bagian termoelektrik ini tidak ada yang bergerak maupun fluida yang mengalir dan perangkat termoelektrik sangatlah ramah lingkungan. Pada saat ini, perangkat termoelektrik sudah banyak digunakan seperti untuk pendingin termoelektrik atau biasa disebut TEC. Sistem kerja dari pendingin termoelektrik ini memanfaatkan efek termoelektrik generator dan sebagai generator termoelektrik atau biasa disebut TEG yang mempunyai fungsi untuk pembangkit listrik dengan mengacu pada efek *Seebeck*. Efek *Seebeck* sendiri merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur di antara kedua sambungan ini, maka akan terjadi arus listrik. Perbedaan temperature pada termoelektrik generator didapat dengan rumus :

$$\Delta T = T_h - T_c$$

Keterangan :

T_h = Suhu panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_c = Suhu dingin ($^{\circ}\text{C}$)

ΔT = Perbedaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Untuk menentukan besarnya daya yang akan dihasilkan oleh prototype penghasil listrik yang memanfaatkan termoelektrik generator dengan menggunakan rumus :

$$P = V \times I$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.2 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.

2.2.1 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah dimana zat cair atau gas dengan suhu tinggi mengalir ke tempat bersuhu yang rendah dan memberikan panas pada permukaan suatu material yang suhunya lebih rendah. Pada perpindahan panas konveksi terjadi antara permukaan padat dengan zat cair atau gas yang mengalir disekitar material. Jadi perpindahan panas konveksi membutuhkan sesuatu media penghantar seperti cairan atau gas.

Rumus mencari nilai h :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_c}$$

| | | | |
|----------|-------|---|--|
| Dimana : | Nu | = | Angka Nusselt |
| | L_c | = | Panjang karakteristik, (m) |
| | k | = | Konduktivitas panas, (W/m.°C) |
| | h | = | Koefisien perpindahan panas koveksi rata – rata pada permukaan, (W/m ² .°C) |

Pada teori Hukum Newton membahas tentang persamaan dasar dari konsep perpindahan panas secara konveksi. Teori tersebut menyatakan :

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

| | | | |
|----------|------------|---|--|
| Dimana : | T_s | = | Suhu permukaan benda padat, (°C) |
| | T_∞ | = | Suhu fluida, (°C) |
| | A | = | Luas permukaan perpindahan panas, (m ²) |
| | h | = | Koefisien perpindahan panas koveksi rata – rata pada permukaan, (W/m ² .°C) |
| | q | = | Laju perpindahan panas konveksi, (Watt) |

Rumus perpindahan panas konveksi alami pada hea tsink :

$$q = h \cdot (2 \cdot n \cdot L \cdot H) \cdot (T_s - T_\infty)$$

| | | | |
|----------|------------|---|----------------------------------|
| Dimana : | T_s | = | Suhu permukaan benda padat, (°C) |
| | T_∞ | = | Suhu fluida, (°C) |
| | n | = | Jumlah sirip |

| | | |
|---|---|--|
| h | = | Koefisien perpindahan panas koveksi rata – rata pada permukaan, (W/m ² .°C) |
| q | = | Laju perpindahan panas konveksi, (Watt) |
| L | = | Lebar Sirip (m) |
| H | = | Tinggi sirip (m) |

2.2.2 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas yang menggunakan media penghantar panas tetap atau tidak berbuah. Pada perpindahan panas konduksi media penghantar panas mengalirkan panas dari temperature yang tinggi ke temperature yang rendah. Perpindahan panas ini tidak hanya terjadi pada benda padat saja namun bisa juga terjadi pada benda cair ataupun gas, tetapi konduktivitas terbesar ada pada benda padat. Jadi konduktivitas benda padat lebih besar dari pada konduktivitas benda cair ataupun gas.

Pada teori Hukum Fourier membahas tentang persamaan dasar teori konsep perpindahan panas secara konduksi. Teori tersebut menyatakan :

$$q = k. A. \frac{\Delta T}{L}$$

| | | |
|-------------------|---|--|
| Dimana ΔT | = | Perbedaan suhu, (°C) |
| L | = | Tebal bahan, (m) |
| A | = | Luas dinding (luas perpindahan panas), (m ²) |
| k | = | Konduktivitas termal (W/m.°C) |
| q | = | Laju perpindahan panas konduksi, (Watt) |

2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses perpindahan panas yang terjadi karena adanya radiasi gelombang elektromagnetik atau pancaran panas matahari pada suatu material. Pada perpindahan panas secara radiasi tidak memerlukan media sehingga perpindahan panas ini mampu berlangsung dalam ruang hampa udara.

Pada teori Hukum Stefan-Boltzman membahas tentang persamaan dasar teori konsep perpindahan panas secara radiasi. Teori tersebut menyatakan :

$$q_r = \varepsilon \sigma AT^4$$

| | | |
|----------------------|---|--|
| Dimana ε | = | Emisivitas |
| T | = | Suhu absolut benda, K ($^{\circ}$ R) |
| A | = | Luas permukaan, m ² (ft ²) |
| q_r | = | Laju perpindahan panas radiasi, Watt (Btu/h) |
| σ | = | Konstanta Stefan-Boltzman 5,669 x 10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴ (0,1713 x 10 ⁻⁸ Btu/h.ft ² . $^{\circ}$ R ⁴) |

2.3 Karakteristik Bahan 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 (Zeng, Y.J.,dkk. 2007).

Efek termoelektrik merupakan peristiwa dimana pengkonversian secara langsung dari energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya karena perbedaan suhu suatu material. Material generator termoelektrik terbuat dari material semikonduktor dimana ada tipe-p dan tipe-n. Material semikonduktor tipe-p adalah material yang kekurangan elektron (hole) sedangkan material semikonduktor tipe-n adalah material yang kelebihan elektron, ketika kedua material tersebut diberikan beda suhu, maka elektron akan bergerak dari sisi suhu panas ke sisi suhu yang lebih dingin. Pengkonversian energi karena beda suhu menjadi energi listrik disebut sebagai efek seebeck (Sugiyanto, 2014).

2.3.1 Karakteristik Aluminium (Al)

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 $206 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$, 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 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).

2.3.2 Karakteristik Kuningan (CuZn)

Kuningan merupakan logam paduan antara tembaga (Cu) dengan seng (Zn) dengan kadar tembaga antara 55% sampai dengan 95% massa. Logam kuningan diperoleh dari proses pengecoran. Cara pengecoran ini adalah satu-satunya cara yang bisa digunakan dalam industri kecil maupun besar (Ady, 2020). Titik lebur kuningan merupakan paduan tembaga dan seng adalah $900 \text{ }^\circ\text{C}$ sampai dengan $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ dimana titik lebur tersebut tergantung dari berapa persen paduan tembaga dan seng. Kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras baja dengan memvariasikan proporsi campuran dari tembaga dan seng, sifat kuningan dapat diubah menjadi keras maupun lunak. Mempunyai konduktivitas termal $128 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ (Evi, 2018).

2.3.3 Karakteristik Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu logam non fero yang memiliki warna kemerahan-oranye dan banyak digunakan dalam konstruksi maupun permesinan, tembaga dan paduan tembaga merupakan logam komersial. Logam ini banyak digunakan memiliki konduktivitas termal dan listrik yang sangat baik, ketahanan yang

luar biasa terhadap korosi, mudah di fabrikasi, memiliki kekuatan yang baik, dan tidak bersifat magnetik. Mempunyai konduktivitas termal $379 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ dan berat atom 63,55 g/mol dan mempunyai titik lebur $1083,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ namun tembaga memiliki temperatur melting yang tinggi, selain itu harga tembaga relatif mahal (daryanto, 2010).

2.4 Alat Pengukur

2.4.1 Voltmeter

Voltmeter adalah alat ukur yang berfungsi sebagai alat ukur untuk menghitung volume tegangan potensial listrik yang berbeda yang terletak diantara dua titik rangkaian listrik penuh arus. Pada alat ini terdapat kode tertentu seperti (V) untuk Voltmeter, (mV) untuk Milivoltmeter, dan (kV) untuk kilovoltmeter. Saat ini banyak jenis voltmeter diantaranya berupa voltmeter dengan jarum penunjuk dan ada voltmeter dengan angka digital yang lebih canggih dan tidak merepotkan pembaca untuk membaca angka yang ditunjuk oleh jarum voltmeter jenis lama karena besaran volt akan langsung ditunjukkan oleh angka digital. Voltmeter adalah alat ukur tegangan yang memiliki batas pengukuran, artinya jika alat ini mengukur tegangan melebihi batas maksimal maka alat ini bisa rusak dan tidak bisa digunakan lagi. Prinsip kerja voltmeter hampir sama dengan ampermeter, sebab fitur yang dimiliki juga terdiri dari galvanometer yang dikolaborasikan dengan multimeter jadi prinsip kerjanya adalah terjadi sambungan magnet dengan arus akan menimbulkan gaya magnetik yang efeknya akan menggerakkan jarum atau membuat angka digital, maka dari itu semakin besar arus terdeteksi maka semakin besar juga pergerakan jarum analog atau angka yang ditunjukkan oleh layar digital pada voltmeter.

2.4.2 Ampermeter

Ampermeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekuatan arus listrik dalam rangkaian, ampermeter harus memiliki resistansi yang sekecil mungkin karena resistansi yang kecil ini tidak akan menghasilkan penurunan tegangan yang cukup besar pada perangkat yang harus diukur, kalau mau pengukuran seakurat mungkin maka ampermeter harus seri dan ditempatkan dalam rangkaian sehingga dilintasi oleh arus. Cara kerja ampermeter adalah ketika arus mengalir melalui koil, maka inti besi menjadi magnet dalam satu arah atau yang lain tergantung pada polaritas sambungan, kemudian inti berputar dan menggerakkan jarum indikator, jarum indikator ini yang menunjukkan nilai intensitas. Sama seperti voltmeter, ampermeter

juga memiliki batas maksimal arus listrik yang akan di ukur, maka dari itu pastikan dulu agar arus listrik yang di ukur tidak melebihi kekuatan ampermeter supaya ampermeter tidak rusak. Seberanya perbedaan ampermeter dengan voltmeter sedikit dimana keduanya masih menggunakan galvanometer. Voltmeter mengukur tegangan dua titik atau gaya gerak listrik sedangkan ampermeter mengukur aliran atau intensitas arus.

2.4.3 Thermometer

Termometer merupakan alat pengukur suhu atau temperatur. Prinsip kerja termometer bermacam-macam tergantung pada jenis termometernya. Sesuai dengan namanya thermo yang berarti panas dan meter yang berarti alat ukur. Ukuran suhu yang dibaca pada termometer dinyatakan dalam satuan derajat celsius ($^{\circ}\text{C}$) tapi dalam pola satuan resminya adalah derajat kelvin ($^{\circ}\text{K}$), sementara itu di beberapa negara eropa dan amerika menggunakan fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Termometer inframerah menggunakan metode pengukuran suhu dengan objek yang diukur dari kejauhan dan tanpa disentuh, cara kerjanya termometer tersebut adalah dengan menggunakan radiasi infra merah yang dipancarkan objek, dengan mengetahui jumlah energi yang dipancarkan oleh objek dan emisinya maka temperatur objek dapat dibedakan. Komponen utama yaitu lensa pemfokus energi inframerah dan detektor, yang mengubah energi menjadi sinyal elektrik. Dengan demikian termometer inframerah berguna mengukur suhu tanpa menyentuh obyek.

2.5 Bahan - bahan

2.5.1 Heat Sink

Heat sink adalah suatu komponen yang digunakan untuk computer atau laptop yang memiliki fungsi utama yaitu mendinginkan suatu komponen yang berusaha untuk dilindungi. Heatsink ini merupakan komponen pengendali panas pasif yang dapat menyerap panas jika dipancarkan atau dihasilkan oleh komponen elektronik lalu akan dipindahkan ke media fluida yang ada disekitarnya, fluida tersebut bisa berupa cairan ataupun udara. Untuk mendapatkan hasil pendinginan yang maksimal heatsink harus dilengkapi dengan kipas untuk membantu proses pendinginan. Heatsink biasanya berupa serangkaian komponen yang terdiri oleh logam dan kipas. Bahan logam digunakan karena memiliki konduktivitas termal yang cukup tinggi. Melalui logam inilah panas dari komponen – komponen elektronik dipindahkan ke logam dengan metode konduksi. Setelah itu panas yang terdapat pada logam heatsink akan

dibuang ke udara dengan menggunakan kipas, atau dapat juga dipindahkan ke cairan dingin jika medium yang dipakai heatsink berbentuk cair.

2.5.2 Kapasitor Elco

Kapasitor merupakan suatu komponen elektronika yang dapat menyimpan suatu muatan listrik dan juga dapat melepas muatan listrik. Selain fungsi kapasitor yang dapat menyimpan muatan listrik juga dapat penyaring frekuensi. Kapasitor mempunyai bermacam – macam ukuran dan bentuk tergantung dari kapasitas, tegangan dan factor lainnya. Fungsi elco yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik disebut dengan kapasitas atau kapasitansi. Kapasitor mempunyai symbol C (Capasitor) sedangkan jika kapasitor yang berfungsi untuk menyimpan muatan listrik memiliki symbol F (Farad). Disimbolkan dengan Farad karena penemu kapasitor ialah Michael Faraday (1791 – 1867). Kapasitor bekerja pada rangkaian elektronika dengan mengalirkan suatu elektron lalu akan diteruskan ke kapasitor. Setelah itu kapasitor akan dipenuhi oleh elektron yang mengakibatkan tegangan mengalami perubahan. Lalu elektron yang ada pada kapasitor akan keluar ke rangkaian atau komponen yang membutuhkannya