

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH *COATING* TEMBAGA PADA SISI  
PANAS TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC*  
GENERATOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
*ELECTROFORMING***

**Oleh :**

**AHMAD SALMAN ROSALI**

**D211 16 307**



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH *COATING* TEMBAGA PADA SISI PANAS  
TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC* GENERATOR DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *ELECTROFORMING***

Oleh :

**AHMAD SALMAN ROSALI**

**D211 16 307**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Teknik pada  
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS  
HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH COATING TEMBAGA PADA SISI PANAS TERHADAP  
KINERJA THERMOELECTRIC GENERATOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
ELECTROFORMING**

**Disusun dan diajukan oleh**

**AHMAD SALMAN ROSALI  
D211 16 307**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 5 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir Zuryati Djafar, MT

NIP. 19680301 199702 2 001



Prof. Dr-Ing Ir. Wahyu H Piarah, MSME.

NIP. 19600302 198609 1 001



Ketua Program Studi,

Dr. Ing. W. Jalaluddin, S.T., M.T.

NIP. 19600302 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : AHMAD SALMAN ROSALI

NIM : D211 16 307

Program Studi : TEKNIK MESIN

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS PENGARUH *COATING* TEMBAGA PADA SISI PANAS  
TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC* GENERATOR DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *ELECTROFORMING*

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Februari 2021



AHMAD SALMAN ROSALI

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrohiim*

*Alhamdulillahirobbil'alamiin wassholatu wassallaamu'alaahootamannabiyyinalmursalin wa'alaah aalihi washohbihi aj'ma'iin ammaa ba'du,* dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan dengan judul : **Analisis Pengaruh Coating Tembaga pada Sisi Panas Terhadap Kinerja Thermoelectric Generator dengan Menggunakan Metode Electroforming** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata Satu pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Semua kebaikan berasal dari Allah semata, segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis maka dari itu penulis memohon maaf atas segala kesalahan, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Dalam pembuatan skripsi ini, penulis banyak mendapat dukungan, bimbingan dan bantuan dari banyak pihak yang sangat berarti bagi penulis. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu, bapak, dan saudara dari penulis yang telah membantu penulis baik dari segi moril maupun material untuk menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. & Ibu Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT. Selaku dosen pembimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi.
3. Bapak Kepala Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT.
4. Alfiqi Dwiva Annisi yang senantiasa membantu dan menyemangati penulis, dukungan darinya sangat berarti bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. Khairul, Fuad, Chaca, Kak Halim dan Kak Sudar selaku teman dan kakak laboratorium mesin pendingin, juga teman-teman Comprezzor 2016 yang telah membantu dukungan moril bagi penulis.
6. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah sangat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat lebih baik kedepannya.

Demikian skripsi ini disusun. Semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak, utamanya kepada penulis sendiri. Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Gowa, Januari 2021

Penulis

## ABSTRAK

**Ahmad Salman Rosali.** *Analisis Pengaruh Coating Tembaga Pada Sisi Panas Terhadap Kinerja Thermoelectric Generator dengan Menggunakan Metode Electroforming* (dibimbing oleh Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT, dan Prof. Dr-Ing Ir. Wahyu H Piarah, MSME).

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pemanfaatan sumber energi baru terbarukan khususnya energi surya. Panas dari cahaya matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan termoelektrik generator (TEG). Daya yang dihasilkan TEG untuk sinar matahari sebagai sumber panas masih sangat kecil yaitu sekitar 0,000025 Watt untuk intensitas cahaya 881,67 Watt/m<sup>2</sup>. Untuk meningkatkan daya yang dihasilkan oleh TEG maka perlu ditambahkan lapisan tembaga untuk menyerap kalor. Hal ini disebabkan tembaga memiliki konduktivitas tinggi dan materialnya mudah ditemukan. Proses *coating* dilakukan dengan metode elektroforming, yaitu perpindahan ion logam yang mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam yang dibantu dengan arus listrik melalui elektrolit. Setelah diberi lapisan, kemudian pengambilan data dilakukan dengan menggunakan modul *National Instrument* (NI) dengan mengukur tegangan yang timbul dan temperatur pada sisi panas dan sisi dingin TEG. Hasil yang ditemukan pada intensitas yang sama yaitu 881,67 Watt/m<sup>2</sup> TEG yang diberi lapisan (*coating*) tembaga dapat menaikkan daya hingga 25,1 kali dibandingkan modul TEG yang tidak diberi lapisan (*coating*).

**Kata kunci :** *thermoelectric generator*, energi terbarukan, *electroforming*, *coating*, tembaga

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	iii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
NOMENKLATUR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Sejarah Termoelektrik.....	5
2.2 Efek Termoelektrik.....	5
2.3 Parameter Penggunaan Modul Termoelektrik .....	8
2.4 Efek-Efek Perpindahan Panas Termoelektrik.....	9
2.5 Elemen Termoelektrik .....	13
2.6 Efisiensi Termoelektrik.....	14
2.7 Perhitungan Termoelektrik .....	15
2.8 Tembaga sebagai Pengantar Panas .....	16
2.9 Pelapisan Tembaga pada Bahan Non logam.....	17
2.10 Penyerapan Kalor pada Termoelektrik .....	19
2.11 Elektroplating.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	22

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2	Jenis dan Sumber Data.....	22
3.3	Metode Pelaksanaan Penelitian .....	22
3.4	Alat dan Bahan.....	23
3.5	Pelaksanaan Penelitian.....	29
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Analisa data dan perhitungan.....	35
4.2	Pembahasan .....	37
BAB V PENUTUP .....		63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA.....		64
LAMPIRAN .....		68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema perpindahan panas konduksi .....	12
Gambar 2.2 Proses Elektroplating.....	20
Gambar 3.1 Power Supply .....	23
Gambar 3.2 Timbangan Digital.....	24
Gambar 3.3. Stopwatch.....	24
Gambar 3.4 Roll Tembaga .....	24
Gambar 3.5 Wadah Plastik.....	25
Gambar 3.6 Multimeter digital.....	25
Gambar 3.7 Gerinda Mini .....	26
Gambar 3.8 Modul NI (National Instrument) .....	26
Gambar 3.9 Heatsink.....	26
Gambar 3.10 Fan.....	27
Gambar 3.11 Termoelektrik Generator .....	27
Gambar 3.12 Termal Pasta.....	27
Gambar 3.13 Cat karbon Konduktif.....	28
Gambar 3.14 Batang Tembaga.....	28
Gambar 3.15. Larutan Tembaga Sulfat .....	28
Gambar 3.16 Proses Elektroforming.....	31
Gambar 4.1 Sejarah Intensitas & Tegangan terhadap Waktu .....	38
Gambar 4.2 Perbandingan tegangan tiap variasi.....	39
Gambar 4.3 Sejarah $\Delta T$ & Tegangan terhadap Waktu .....	40
Gambar 4.4 Sejarah Temperatur <i>Hotside</i> & Kalor yang diserap terhadap waktu	41
Gambar 4.5 Sejarah Daya & Efisiensi terhadap Waktu.....	42
Gambar 4.6 Perbandingan daya tiap variasi (Perendaman 2.5 Volt) .....	43
Gambar 4.7 Sejarah Intensitas & Tegangan terhadap Waktu .....	44
Gambar 4.8 Perbandingan tegangan tiap variasi (Perendaman 2.5 Volt) .....	45
Gambar 4.9 Sejarah $\Delta T$ & Tegangan terhadap Waktu .....	46
Gambar 4.10 Sejarah Temperatur <i>Hotside</i> & Kalor yang diserap terhadap Waktu .....	47
Gambar 4.11 Sejarah Daya & Efisiensi terhadap Waktu.....	48
Gambar 4.12 Perbandingan Daya tiap Variasi (Perendaman 3 Volt) .....	49

Gambar 4.13 Sejarah Intensitas Cahaya & Tegangan terhadap Waktu .....	50
Gambar 4.14 Perbandingan tegangan tiap variasi (Perendaman 3.5 Volt) .....	51
Gambar 4.15 Sejarah $\Delta T$ & Tegangan terhadap Waktu.....	52
Gambar 4.16 Sejarah Temperatur <i>Hotside</i> & dan Kalor yang diserap terhadap Waktu .....	53
Gambar 4.17 Sejarah Daya & Efisiensi terhadap Waktu.....	54
Gambar 4.18 Perbandingan daya tiap variasi (Perendaman 3.5 Volt) .....	55
Gambar 4.19 Sejarah Intensitas dan tegangan terhadap Waktu.....	56
Gambar 4.21 Sejarah $\Delta T$ dan Tegangan terhadap Waktu.....	58
Gambar 4.22 Sejarah Temperatur dan Kalor yang diserap terhadap waktu .....	59
Gambar 4.23 Sejarah Rerata Daya dan Efisiensi terhadap Waktu.....	60
Gambar 4.24 Perbandingan rerata daya tiap variasi tegangan .....	61
Gambar 4.25 Perbandingan rerata daya tiap variasi waktu.....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konduktifitas Termal Berbagai Bahan .....	13
Tabel 3.1 Variasi <i>coating</i> tembaga.....	30
Tabel 4.1 Kenaikan tegangan terhadap variasi tanpa <i>coating</i> .....	39
Tabel 4.2 Perbandingan Daya tiap Variasi (Perendaman 2.5 Volt) .....	42
Tabel 4.3 Kenaikan tegangan terhadap variasi tanpa <i>coating</i> .....	45
Tabel 4.4 Perbandingan daya tiap variasi (Perendaman 3 Volt).....	48
Tabel 4.5 Kenaikan tegangan terhadap variasi tanpa <i>coating</i> .....	51
Tabel 4.6 Perbandingan daya tiap variasi (Perendaman 3.5 Volt).....	54
Tabel 4.7 Kenaikan tegangan terhadap variasi tanpa <i>coating</i> .....	56
Tabel 4.8 Perbandingan rerata daya tiap variasi .....	60
Tabel 4.9 Perbandingan daya tiap variasi waktu.....	62

## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
$\Delta T$	Beda temperatur rerata	$^{\circ}\text{C}$
I	Arus	Ampere
K	konduktivitas termal modul	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$
P	Daya	Watt
$Q_H$	Panas yang diserap	Watt
$R_i$	Tahanan modul TEG	Ohm
$R_L$	Tahanan beban	Ohm
$T_c$	Temperatur sisi dingin rerata	$^{\circ}\text{C}$
$T_h$	Temperatur sisi panas rerata	$^{\circ}\text{C}$
$W_1$	Berat awal modul	Gram
$W_2$	Berat Modul setelah diberi lapisan grafit	Gram
$W_3$	Berat Modul setelah diberi lapisan tembaga	Gram
A	Koefisien Seebeck	$\text{V}/^{\circ}\text{C}$
$\Delta V$	Beda tegangan rerata	Volt
H	Efisiensi modul TEG	%

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Energi tidak lepas dari kehidupan manusia dalam menjalankan aktivitasnya sehari-hari. Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Akan tetapi, tidak semua sumber energi yang dimanfaatkan dapat diperbaharui sehingga suatu saat sumber energi itu akan habis, seperti halnya energi fosil. Energi fosil merupakan energi yang berasal dari sumber daya fosil seperti batu bara dan minyak bumi yang terjadi akibat adanya penimbunan fosil selama berjuta tahun lamanya. Sumber energi fosil sewaktu-waktu bisa habis jika dilakukan pemakaian terus dan ironisnya, energi fosil inilah yang paling banyak digunakan (Pudjanarsa A dan Nursuhud D, 2008)

Salah satu solusi yang ditawarkan untuk meminimalisir tingkat penggunaan energi fosil dengan cara mencari sumber energi alternatif yang sifatnya terbarukan dan ramah lingkungan. Ada beberapa sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik di antaranya: Pertama, pembangkit listrik dengan kapasitas makro yang biasanya memanfaatkan air, uap, gas, nuklir, dan lain-lain. Kedua, pembangkit listrik dengan kapasitas mikro yang salah satunya memanfaatkan energi panas. Energi panas tersebut antara lain berasal dari sinar matahari dan benda-benda yang melepaskan panas, seperti setrika, knalpot kendaraan bermotor, kompor pemanas, mesin pengeringan dan lain sebagainya. Walaupun pembangkit listrik tersebut hanya berkapasitas mikro, namun pemakaian yang maksimal dalam jangka panjang dapat membantu menghemat penggunaan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berkapasitas makro. Pembangkit listrik berkapasitas makro seharusnya hanya digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik berdaya besar saja. Sedangkan untuk pemenuhan listrik berdaya kecil, seperti penerangan lampu, dapat memanfaatkan pembangkit listrik berkapasitas mikro (Sudarmanto Jayanegara, 2019).

*Thermoelectric* sebagai salah satu pembangkit listrik berkapasitas mikro dapat membantu menghasilkan listrik dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan efek *seebeck* yaitu jika dua buah material logam (semi konduktor) yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka pada material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik. Hal ini lah yang akan coba dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik di kehidupan sehari-hari.

Ekspos sinar matahari pada *thermoelectric generator* belum memberikan hasil yang memadai. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Mustofa (2019), efisiensi yang diperoleh sangat rendah. Oleh karena itu masih diperlukan penambahan material penyerap dan penghantar panas pada TEG. Salah satu material yang memiliki konduktivitas yang tinggi adalah tembaga. Tembaga memiliki konduktivitas tertinggi kedua setelah perak dimana dapat menghantarkan panas dengan sangat baik.

Tembaga dan paduannya telah banyak digunakan di bidang keteknikan karena memiliki keunggulan diantaranya : penampilan yang menarik, kekuatan dan daktilitas yang cukup tinggi, juga kemudahan dalam fabrikasi (Bringas & Wayyman, 1998). Tembaga merupakan salah satu logam ringan yang paling banyak dimanfaatkan oleh manusia selain karena kelimpahannya yang besar di alam juga disebabkan sifat-sifat yang dimiliki oleh tembaga. Tembaga mempunyai sifat-sifat unggul antara lain mempunyai laju korosi yang lambat, konduktivitas termal dan elektrik yang baik. Oleh karena tembaga memiliki konduktivitas termal yang baik, sehingga memberi ide kepada penulis sebagai media untuk menyalurkan panas ke sisi panas modul *thermoelectric generator* dengan baik sehingga diharapkan akan menaikkan daya yang dapat dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti menilai perlunya penelitian tentang “Analisis Pengaruh Penambahan *Coating* Tembaga Pada Sisi Panas Terhadap Kinerja *Thermoelectric Generator* dengan Menggunakan Metode *Electroforming*.”

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan maka dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pemberian lapisan (*coating*) tembaga terhadap tegangan *output* thermoelectric generator?
2. Bagaimana perbandingan kinerja antara modul thermoelectric generator yang diberi lapisan (*coating*) tembaga dengan yang tidak dilapisi?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas dapat diperoleh beberapa tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh lapisan (*coating*) tembaga terhadap tegangan output yang dihasilkan *thermoelectric generator*.
2. Untuk menganalisis dan membandingkan pengaruh pemberian lapisan (*coating*) tembaga terhadap kinerja *thermoelectric generator*.

## 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Menggunakan *Thermoelectric* TEC1-12706
2. Menggunakan Larutan elektrolit tembaga sulfat sebagai media *electroforming*.
3. Suhu pelapisan (*coating*) pada temperature ruangan konstan.

## 1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yaitu sebagai berikut :

1. Mengetahui efektifitas dan pengaruh *coating* tembaga pada *thermoelectric generator*.
2. Membuat terobosan baru dengan metode *electroforming* yang biasanya hanya digunakan untuk hiasan.
3. Menciptakan inovasi baru dalam energi terbarukan.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Penulisan topik dalam pembuatan skripsi ini dibagi dalam lima bab untuk memudahkan pembahasan dan juga agar skripsi tersusun dengan rapi, sistematika dan mudah dipahami. Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut.

### **Bab I Pendahuluan**

Dalam bab ini dibahas secara rinci waktu dan tempat penelitian, jenis dan sumber data, pengumpulan data, metode analisis data untuk menjawab permasalahan yang diteliti dalam kerangka pembahasan.

### **Bab II Tinjauan Pustaka**

Dalam bab ini diuraikan teori-teori yang relevan dan lengkap yang menjadi dasar/landasan melakukan penelitian. Teori-teori tersebut didapat dari berbagai sumber dan merupakan hasil penelitian kepustakaan sebagai landasan melakukan penelitian. Bab 2 ini berisi teori-teori umum mengenai sistem informasi geografi dan teori-teori khusus yang berdasarkan topik penelitian.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

Pada Bab ini dibahas dengan rinci waktu dan tempat dilakukannya penelitian, jenis dan sumber data, pengumpulan data, metode analisis data untuk menjawab permasalahan yang diteliti dalam kerangka penelitian.

### **Bab IV Hasil Dan Pembahasan**

Merupakan bab yang membahas data hasil perbandingan setelah pengambilan data dan pembahasan mengenai hasil data tersebut

### **Bab V Penutup**

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian serta saran-saran yang berguna untuk penyempurna dan pengembangan skripsi ini kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sejarah Termoelektrik**

Generator termoelektrik adalah sebuah alat yang dapat digunakan sebagai pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari sebuah lempeng logam. Termoelektrik merupakan konversi langsung dari energi panas menjadi energi listrik. Termoelektrik didasarkan pada sebuah efek yang disebut efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada pembangkit termoelektrik adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik. Teknologi termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala yang besar (Soo, 1968).

Termoelektrik itu sendiri umumnya menggunakan bahan yang bersifat semikonduktor atau dengan kata lain menggunakan *solid-state technology*. Struktur termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-*P*, yakni material yang kekurangan elektron, dan terdiri juga dari susunan elemen tipe-*N*, yakni material yang kelebihan elektron. Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan gradien suhu (Anwar dan Sari, 2013).

#### **2.2 Efek Termoelektrik**

##### **2.2.1 Efek Seebeck**

Konsep Seebeck menggambarkan jika terdapat dua buah material logam (biasanya semi konduktor) yang tersambung berada di

lingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka pada material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik. Dari fenomena ini, kita dapat menentukan koefisien Seebeck, yaitu:

$$S = - \frac{\Delta V}{\Delta T} = - \frac{V_{hot} - V_{cold}}{T_{hot} - T_{cold}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Koefisien seebeck (s) disebut juga daya thermoelektrik, seperti pada persamaan berikut :

$$S = \frac{dEs}{T} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- S = Koefisien seebeck (Volt/°K)
- dEs = Potensial thermoelektrik terinduksi (Volt)
- T = Temperatur (°K)

Sedangkan untuk perbedaan voltage (v), kita dapat menghitung dengan menggunakan rumus persamaan:

$$V = \int_{T_c}^{T_h} (S_B(T) - S_A(T)) dT \dots\dots\dots (2.3)$$

Konsep ini apabila diterapkan pada kendaraan bermotor dengan gas buang pada mesin motor bakar berkisar antara 200-300°C dan temperatur lingkungan berkisar antara 30-35°C, akan menghasilkan gaya geras listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan motor listrik atau disimpan di dalam baterai. Apabila dapat diterapkan di kendaraan hibrid, konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor akan semakin irit (Putra *et al.* 2009).

Efek Seebeck dapat didemonstrasikan dengan membuat sambungan antara dua kawat dari jenis logam yang berbeda (misalnya, tembaga dan besi). Ujung kawat lainnya dihubungkan ke galvanometer atau voltmeter yang sensitif. Jika sambungan antara kawat dipanaskan, maka alat ukur akan membaca adanya sejumlah kecil tegangan. Susuna demonstrasi ini ditunjukkan pada gambar dapat dikatakan.

### 2.2.2 Efek Peltier

Fenomena efek Peltier merupakan 2 buah kawat logam dengan material yang berbeda (misalkan A dan B) diberikan perbedaan tegangan, maka akan menghasilkan perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur yang dihasilkan sebanding dengan jumlah arus searah yang dialirkan, sehingga nantinya ada bagian yang akan menyerap kalor dan ada bagian yang melepas kalor. Efek Peltier pada sistem termoelektrik yang perlu diperhatikan adalah bahwa efeknya bersifat reversibel. Artinya jika proses tersebut terbalik, maka panas dan dinginnya akan bertukar tempat pada ujung-ujung sambungan (Salim dan Indarto, 2018).

Persamaan dari efek adalah sebagai berikut :

$$\pi_{ab} = \frac{Q}{I_{ab}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- $\pi_{ab}$  = Koefisien peltier (Volt)
- $Q$  = Beban perpindahan panas (Watt)
- $I_{ab}$  = Arus Listrik (Ampere)

### 2.2.3 Efek Thomson

Tegangan yang dihasilkan ini sebanding dengan perbedaan temperatur diantara dua junction. Semakin besar perbedaan temperatur, semakin besar tegangan diantara junction. Koefisien thomson dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tau = \frac{Q}{I} \Delta T \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- $\tau$  = Koefisien peltier (Volt)
- $Q$  = Beban perpindahan panas (Watt)
- $I$  = Arus Listrik (Ampere)
- $\Delta T$  = Perbedaan temperature (°K)

#### 2.2.4 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. Dalam hal ini sesuai dengan hukum ohm, efek joule dirumuskan pada persamaan berikut:

$$Q_j = I^2 \cdot R \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- $Q_j$  = Efek joule (panas joule) (watt)
- $I$  = Arus Listrik (Ampere)
- $R$  = Tahanan (Ohm)

#### 2.2.5 Efek Konduksi

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

$$q_c = U \cdot (T_h - T_c) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- $q_c$  = Laju aliran panas (watt)
- $U$  = konduktivitas thermal (Watt/°K)
- $T_h$  = Temperatur *hot junction* (°K)
- $T_c$  = Temperatur *cold junction* (°K)

### 2.3 Parameter Penggunaan Modul Termoelektrik

Pada modul termoelektrik yang digunakan untuk aplikasi pemanas dikarakterisasikan kedalam beberapa parameter penggunaan yang menentukan pemilihan modul yang lebih akurat diantara banyak pilihan modul yang tersedia. Berikut beberapa parameter yang menjadi dasar pemilihan modul termoelektrik :

1. Jumlah kalor yang akan diserap oleh sisi panas modul.

2. Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul ketika beroperasi
3. Arus listrik yang digunakan oleh modul.
4. Tegangan listrik yang digunakan oleh modul.
5. Temperatur tertinggi dan terendah lingkungan dimana modul beroperasi.

## 2.4 Efek-Efek Perpindahan Panas Termoelektrik

### 2.4.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendingin termoelektrik adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi mulai dari *heat sink* sisi dingin *peltier*, *bracket/coldsink*, dan *heat sink* pada sisi panas *peltier*. Sedangkan konveksi terjadi pada udara dalam ruangan, lingkungan sekitar alat uji *dry box*, dan udara disekitar sirip-sirip *heat sink*. Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang cara untuk meramalkan perpindahan (distribusi) energi berupa panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Perpindahan panas dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

Perpindahan panas secara konduksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi pada benda atau medium yang diam (padat) bertemperatur tinggi ke bagian benda yang bertemperatur rendah atau terdapat gradien temperatur pada benda tersebut.

Rumus dasar perpindahan panas secara konduksi adalah :

$$Q = - \frac{kA\Delta T}{x} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- |    |  |                       |
|----|--|-----------------------|
| Q  | = Laju perpindahan panas                 | (Watt)                |
| k  | = Konduktivitas panas                    | (W/m <sup>2</sup> °C) |
| A  | = Luasan Perpindahan panas arah normal Q | (m <sup>2</sup> )     |
| ΔT | = Beda temperatur                        | (°C)                  |
| X  | = Ketebalan bahan                        | (m)                   |

Perpindahan Panas Konveksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi karena terdapat aliran fluida. Persamaan dasar perpindahan konveksi adalah :

$$Q = h.A (T_w - T_a) \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- $Q$  = Laju perpindahan panas (Watt)
- $h$  = Koefisien perpidahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>°C)
- $A$  = Luasan perpindahan panas arah normal Q (m<sup>2</sup>)
- $T_w$  = Temperatur permukaan benda (°C)
- $T_a$  = Temperatur Fluida (°C)

Perpindahan panas radiasi adalah distribusi energi berupa panas terjadi melalui pancaran gelombang cahaya dari suatu zat ke zat yang lain tanpa zat perantara. Untuk menghitung besarnya panas yang dipancarkan yaitu menggunakan rumus :

$$Q = \varepsilon AT^4s \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- $Q$  = Panas yang dipancarkan (Watt)
- $\varepsilon$  = emisivitas permukaan benda (0 s.d. 1)
- $A$  = Luas perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
- $T$  = Temperatur permukaan benda (°K)
- $\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzman (W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

#### **2.4.1.1 Perpindahan Panas Konduksi**

Perpindahan panas yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan panas tanpa diikuti oleh perpindahan molekul benda tersebut. Konduksi juga dapat dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memilikienergy yang cukup besar menuju ke benda yang memiliki energi yang rendah.

Ada suatu perbedaan antara kalor (heat) dan energi dalam dari suatu bahan. Kalor hanya digunakan bila menjelaskan perpindahan energi dari satu tempat ke yang lain. Kalor adalah

energi yang dipindahkan akibat adanya perbedaan temperatur. Sedangkan energi dalam (termis) adalah energi karena temperaturnya. Kalor merupakan bentuk energi yang berasal dari perubahan energi bentuk lain, seperti : (1) energi listrik berubah menjadi energi kalor, contohnya pada strika listrik; (2) energi gerak berubah menjadi energi kalor, contohnya saat orang menggergaji logam.

Ketika salah satu bagian logam bersentuhan dengan nyala lilin atau nyala api, secara otomatis kalor mengalir dari nyala lilin (suhu tinggi) menuju bagian logam tersebut (suhu rendah). Walaupun hanya salah satu bagian logam yang bersentuhan dengan nyala api, semua bagian logam tersebut akan kepanasan juga. Tanganmu bisa terasa panas, karena kalor mengalir dari logam (suhu tinggi) menuju tanganmu (suhu rendah). Kalor itu energi yang berpindah. Kita bisa mengatakan bahwa ketika salah satu bagian benda yang bersuhu tinggi bersentuhan dengan benda yang bersuhu rendah, energi berpindah dari benda yang bersuhu tinggi menuju bagian benda yang bersuhu rendah. Ketika benda yang memiliki perbedaan suhu saling bersentuhan, terdapat sejumlah kalor yang mengalir dari benda atau tempat yang bersuhu tinggi menuju benda atau tempat yang bersuhu rendah. Ketika mengalir, kalor juga membutuhkan selang waktu tertentu. Perlu diketahui bahwa setiap benda (khususnya benda padat) yang dilewati kalor pasti mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda. Ada benda padat yang panjang, ada juga benda padat yang pendek. Ada yang gemuk (luas penampangnya besar), ada juga yang kurus (luas penampangnya kecil). Persamaan yang digunakan untuk perpindahan panas konduksi dikenal dengan Hukum Fourier :

$$q = -K.A \frac{T_1-T_2}{\Delta x} \dots\dots\dots (2.11)$$

Nilai minus (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa panas selalu berpindah ke arah temperatur yang lebih rendah. Jika suatu benda padat disusun berlapis dari material yang berbeda, maka untuk mengetahui nilai perpindahan panas yang terjadi dapat digunakan pendekatan system resistansi listrik. Besarnya tahanan termal yang terjadi adalah perbandingan selisih suhu diantara kedua permukaan ( $T_1-T_2$ ) dengan laju aliran panas  $q$  (J/s). Untuk mencari nilai tahanan termal dari suatu material padatan digunakan persamaan :

$$R_T = \frac{T_1-T_2}{q} = \frac{\Delta x}{K.A} = \frac{q}{K.A} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

$Q$  = Energi panas (W)

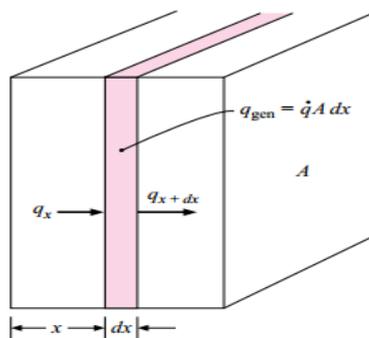
$K$  = Konduktivitas termal (W/m.°C)

$A$  = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$\Delta x$  = Tebal penampang permukaan (m)

$T_1$  = Temperatur yang lebih tinggi (°C)

$T_2$  = Temperatur yang lebih rendah (°C)



**Gambar 2.1 Skema perpindahan panas konduksi**

### 2.4.1.1.1 Konduktivitas Termal

Tetapan kesebandingan ( $k$ ) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (2.10) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat bergantung pada suhu.

**Tabel 2.1 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan**

Material	Thermal conductivity $k$	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
<b>Metals:</b>		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
<b>Nonmetallic solids:</b>		
Diamond	2300	1329
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.08–2.94	1.2–1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Hard rubber	0.15	0.087
Polyvinyl chloride	0.09	0.052
Styrofoam	0.033	0.019
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Ice	2.22	1.28
<b>Liquids:</b>		
Mercury	8.21	4.74
Water	0.556	0.327
Ammonia	0.540	0.312
Lubricating oil, SAE 50	0.147	0.085
Freon 12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.073	0.042
<b>Gases:</b>		
Hydrogen	0.175	0.101
Helium	0.141	0.081
Air	0.024	0.0139
Water vapor (saturated)	0.0206	0.0119
Carbon dioxide	0.0146	0.00844

## 2.5 Elemen Termoelektrik

### Figure of Merit

Figure of Merit  $Z$  menunjukkan jika suatu bahan adalah pendingin termoelektrik yang baik. Itu tergantung pada tiga parameter material:

resistivitas listrik (atau konduktivitas listrik), koefisien Seebeck, dan total konduktivitas termal antara sisi dingin dan panas.

Mempertimbangkan suhu absolut (yang mewakili suhu rata-rata antara sisi dingin dan sisi panas modul termoelektrik), parameter yang banyak digunakan adalah produk tanpa dimensi.

Ekspresi alternatif  $Z$  memperhitungkan hambatan listrik dari thermoelements secara seri dan konduktansi termal dari thermoelements secara paralel.

## 2.6 Efisiensi Thermoelektrik

Material termoelektrik (TE) dapat langsung mengubah panas menjadi listrik tanpa menghasilkan produk sampingan yang berbahaya bagi lingkungan telah menarik perhatian besar dalam dua dekade terakhir (Poudel, *et al.* 2008) (Bell, 2008) (DiSalvo, 1999). Namun, efisiensi konversi yang rendah menghambat implementasi luas mereka dalam aplikasi TE. Secara tradisional, efisiensi bahan TE apa pun dievaluasi oleh:

$$\eta_{\max} = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + T_c/T_h}$$

Dengan  $T_h$  dan  $T_c$  mewakili suhu sisi panas, suhu sisi dingin, dan rata-rata  $ZT$ . Sosok tanpa dimensi dari jasa  $ZT = (S^2\sigma / \kappa) T$ , terdiri dari empat parameter,  $\sigma$  (konduktivitas listrik),  $S$  (koefisien Seebeck),  $\kappa$  (konduktivitas termal), dan  $T$  (suhu absolut) (Liu *et al.* 2017) (Shuai *et al.*, 2017).

Bahan semikonduktif yang paling umum, silikon amorf menunjukkan perilaku termoelektrik dalam kisaran suhu 150-500 K. Namun, efisiensi termoelektrik sangat rendah karena Silikon amorf memiliki nilai *figur of merit* ( $ZT$ ) yang sangat kecil. *Thermopower* besar (nilai absolut dari koefisien Seebeck), konduktivitas listrik yang tinggi, dan konduktivitas termal yang rendah memaksimalkan  $ZT$  (Madhavaram *et al.*, 2009).

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 memiliki efisien karnot 100%.. untuk efisiensi thermal 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 yang dapat digunakan.

Sebagai perbandingan, pembangkit daya termoelektrik memiliki efisiensi karnot paling rendah yaitu 5-8%. Sementara daya lain seperti diesel memiliki efisiensi karnot sebesar 30%. *Power Chip* diproyeksikan mencapai efisiensi karnot sekitar 70-80%, efisiensi ini adalah yang paling besar dibandingkan dengan pembangkit daya lain.

## 2.7 Perhitungan Termoelektrik

Bahan termoelektrik merupakan semikonduktor yang merupakan benda padat ataupun logam yang mempunyai nilai diantara nilai resistansi konduktor dan isolator. Permukaan dingin menyerap panas dari produk 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 kondesor.

Dalam menganalisa kinerja modul termoelektrik, koefisien Seebeck yang menggambarkan tegangan (gaya gerak listrik) timbul karena perbedaan suhu menjadi sangat penting. Koefisien Seebeck dapat dinyatakan oleh persamaan 2.1. Sementara arus listrik yang dihasilkan diberikan oleh persamaan berikut (H.J. Goldsmid. 2010):

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{R_i + R_L} = \frac{\alpha (T_h - T_c)}{R_i + R_L} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

I = Arus listrik yang mengalir pada rangkaian

Ri = Tahanan internal modul termoelektrik (ohm)

RL = Tahanan Eksternal (ohm)

Th = Temperatur sisi panas modul (°C)

Tc = Temperatur sisi dingin modul (°C)

Panas yang diserap (Qh) dari sumber panas pada permukaan sisi panas (Th) ke permukaan sisi dingin (Tc) adalah sebagai berikut (H.J. Goldsmid. 2010):

$$Q_h = (\alpha I T_h) + k(T_h - T_c) \dots \dots \dots (2.14)$$

Qh = Kalor yang diserap (Watt/m<sup>2</sup>)

k = Konduktivitas termal Termoelektrik (0,9977 Watt/m<sup>0</sup>C)

Daya keluaran (P) dan efisiensi (η) generator termoelektrik adalah sebagai berikut (H.J. Goldsmid. 2010):

$$P = I V \dots \dots \dots (2.15)$$

$$\eta = \frac{P}{Q_h} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.16)$$

P = Daya (Watt)

η = Efisiensi (%)

## 2.8 Tembaga sebagai Pengantar Panas

Tembaga dan paduannya telah banyak digunakan di bidang keteknikan karena memiliki keunggulan diantaranya : penampilan yang menarik, kekuatan dan daktilitas yang cukup tinggi, juga kemudahan dalam fabrikasi (Bringas & Wayyman, 1998). Tembaga merupakan salah satu logam ringan yang paling banyak dimanfaatkan oleh manusia selain karena kelimpahannya yang besar di alam juga disebabkan sifat-sifat yang dimiliki oleh tembaga. Tembaga mempunyai sifat-sifat unggul antara lain mempunyai laju korosi yang lambat, konduktivitas termal dan elektrik yang baik, relatif lunak dan mudah dikerjakan misalnya dicetak, diekstrusi,

ditarik, dipres, ditempa dan dirol. Tembaga adalah suatu logam yang diambil dari biji dasar pada Copperpyrites. Copperpyrites adalah tanah tambang dimana tembaga bereaksi secara kimia dengan besi dan belerang =  $\text{CuFeS}_2$ . Serta logam ini mempunyai kemurnian pada hantaran panas dengan suhu  $20^\circ\text{C}$  sebesar  $0,941 \text{ Cal/cm derajat/ detik}$ . Dalam pemurnian tembaga untuk keperluan industri biasanya terdapat unsur-unsur gas yang memberikan pengaruh terhadap berbagai sifat. Oksigen merupakan unsur yang penting yang berhubungan erat dengan kadar hidrogen dan belerang. Tembaga banyak digunakan untuk komponen dan produk elektrik, peralatan rumah tangga, bodi automobil dan pesawat. Sedangkan, laju korosi tembaga yang rendah banyak dimanfaatkan untuk melapisi logam lain yang mempunyai laju korosi tinggi misalnya baja. Pelapisan tembaga pada baja dapat mengontrol atmosfer korosi dari baja, meningkatkan konduktifitas elektrik dan termal baja (Majanasastra, 2016).

## **2.9 Pelapisan Tembaga pada Bahan Non logam**

Penggunaan lapisan tembaga sangat luas, karena selain meninggalkan tampak rupa, serta perlindungan korosi, juga dapat meningkatkan sifat-sifat benda yang dilapisi menurut aspek-aspek teknologi yang diinginkan. Dalam dunia industri, pelapisan tembaga dimanfaatkan sebagai lapisan dasar (*strike*) pada proses pelapisan nikel-krom dekoratif, lapisan *finishing* pada produk komponen listrik, penghalang (*stop off*) pada proses penambahan nitrogen (*nitriding*) dan penambahan karbon (*carbonizing*), elektrolisa serta pembentuk benda dengan endapan (*electroforming*) (Arkha *et al.* 2018).

Cold spray adalah teknologi pelapisan menggunakan berbagai jenis logam dan dalam beberapa kasus bubuk non-logam sebagai bahan baku (Papryin *et al.* 2006), (Champagne, 2007), (Villafuerte, 2015). Semprotan dingin dapat juga digunakan untuk pembuatan endapan tebal (Hussain, 2011), (Coddet *et al.* 2015), semprotan pembentuk (Pattison, 2007) dan pembuatan aditif objek 3D yang berdiri bebas (Sova *et al.* 2013), (Wang

*et al.* 2015), (Cormier, 2016). Salah satu keuntungan utama dari semprotan dingin adalah kemungkinan untuk menghasilkan pelapis komposit yang mengandung beberapa bahan berbeda. Endapan komposit semprotan dingin dapat dibentuk dengan tiga cara yang berbeda: penyemprotan campuran bubuk (i), penyemprotan bubuk komposit (ii) dan penyemprotan bubuk berpakaian (iii) (Grigoriev *et al.* 2015). Pendekatan (i) dianggap sebagai yang paling sederhana dan paling hemat biaya, karena dalam hal ini campuran dibuat menggunakan bubuk bahan tunggal yang tersedia secara komersial. Terlepas dari kesederhanaannya, pendekatan ini memungkinkan untuk menghasilkan komposit logam dan logam-keramik yang berbeda dengan sifat-sifat unik. Sebagai contoh, ditunjukkan bahwa komposit semprotan dingin yang mengandung fase logam lunak dan fase penguat keras memiliki kinerja tribologi spesifik dan sifat mekanik yang tinggi (Petrovskiy, 2020). Namun, diketahui dari penelitian sebelumnya, bahwa komposisi pelapis semprotan dingin yang disimpan menggunakan campuran bubuk dapat berbeda dari komposisi awal campuran (Sova *et al.* 2017) dan aturan campuran sederhana tidak berlaku untuk prediksi persentase komponen dalam pelapis (Chu *et al.* 2018), (Chu *et al.* 2017), (Chu *et al.* 2019). Dengan kata lain, jika campuran penyemprotan (A + B) mengandung bubuk A dan B, maka efisiensi pengendapan komponen A dan B tidak hanya bergantung pada parameter penyemprotan, tetapi juga pada persentase masing-masing komponen dalam campuran. Dalam hal campuran logam yang mengandung bubuk logam lunak dan keras (atau logam lunak dan bubuk keramik keras) ketidaksesuaian ini dijelaskan oleh pengaruh permukaan yang terpengaruh pada kemungkinan adhesi partikel keras. Secara khusus, probabilitas adhesi partikel keras pada permukaan, ditutupi oleh partikel lunak yang sebelumnya melekat lebih tinggi daripada dalam kasus dampak dengan partikel keras yang melekat sebelumnya. Model analitik relatif sederhana yang dikembangkan oleh Sova *et al.* memungkinkan memperkirakan komposisi akhir dari lapisan komposit serta efisiensi pengendapan campuran (Sova *et al.* 2017).

## **2.10 Penelitian sebelumnya mengenai penyerapan kalor pada Termoelektrik**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pradana dan Widyartono (2020), pada prototipe pembangkit listrik termoelektrik generator yang menggunakan penghantar panas aluminium, seng, dan kuningan dihasilkan output tegangan listrik yang didapatkan paling tinggi ketika menggunakan plat penghantar panas kuningan dengan ketebalan 1 mm dengan merangkai 16 TEG secara seri dengan menggunakan air es, didapatkan 9,2 Volt pada hari ke-10, selanjutnya penggunaan plat seng dengan rangkaian seri TEG didapatkan 3,56 Volt pada hari ke-1, dan yang terakhir menggunakan plat aluminium dengan rangkaian seri TEG didapatkan 2,95 Volt pada hari ke-5 dengan suhu rata-rata yang dihasilkan oleh TEG ialah  $53,53^{\circ}\text{C}$  selama masa pengujian 10 hari. Hal ini menunjukkan bahwa sisi panas TEG membutuhkan absorber untuk menyerap kalor yang dihasilkan matahari agar dapat meningkatkan tegangan yang timbul dari TEG.

## **2.11 Elektroplating**

### **1. Definisi Elektroplating**

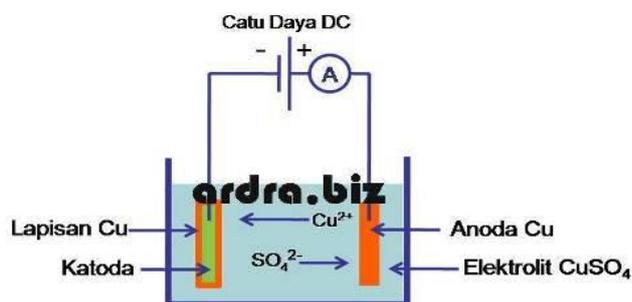
Menurut Purwanto (2005), elektroplating merupakan peristiwa perpindahan

ion logam yang mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam yang dibantu dengan arus listrik melalui elektrolit. Lapisan yang mengendap disebut deposit. Proses

pengendapan pada katoda disebabkan adanya perpindahan ion-ion secara terus-menerus menggunakan tegangan yang konstan, akhirnya ion-ion tersebut mengendap dan menempel kuat membentuk suatu lapisan permukaan (Paridawati, 2013). Pada teknologi pegerjaan logam, elektroplating digunakan sebagai proses finishing atau pengerjaan akhir suatu logam. Namun, selain memberikan tampilan yang lebih menarik elektroplating memberikan manfaat lain bagi logam yaitu dapat menambah kekerasan dan ketahanan aus logam, mencegah timbulnya korosi, serta menambah ketebalan logam (Supriadi, 2010). Metode elektroplating memiliki banyak keunggulan, dengan teknik yang menarik, sederhana, serta murah, selain itu banyak material yang dapat dilakukan elektroplating seperti logam, logam alloy, dan semikonduktor dengan ketebalan yang diendapkan tidak memiliki batas maksimal (El-Giar et al, 2000).

## 2. Prinsip Kerja Elektroplating

Anoda, katoda, dan larutan elektrolit merupakan ketiga istilah yang digunakan dalam pelapisan material terutama logam. Prinsip kerja elektroplating diilustrasikan pada Gambar 2.2 berikut ini.



**Gambar 2.2 Proses Elektroplating**

Proses Elektroplating (Yerikho, 2013) Anoda merupakan terminal positif yang dihubungkan dengan kutub positif dari sumber listrik searah (Direct Current), sedangkan katoda yang merupakan terminal negatif dihubungkan dengan elektroda negatif dari sumber listrik searah. Pada prinsip kerja ini, anoda ada yang larut ada pula yang tidak

larut, anoda yang tidak larut dapat berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja, sedangkan anoda yang larut barulah berfungsi sebagai bahan baku pelapis. Material yang akan dilapisi (katoda) harus bersifat konduktif atau dapat menghantarkan listrik. Proses elektroplating ini dilakukan pada suatu larutan elektrolit yang mengandung senyawa logam. Dalam larutan elektrolit ini, ion logam yang bermuatan positif menuju material yang bermuatan negatif, kemudian ion logam akan tereduksi menjadi logam baru dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit). Dapat dikatakan, anoda merupakan bahan baku pelapis, sedangkan katoda merupakan material yang akan dilapisi (Supriadi, 2010).