



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PEMBANGKIT DAYA LISTRIK TENAGA PANAS  
MATAHARI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**ABDULLAH  
0906603202**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JANUARI 2012**

**PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Abdullah**  
**NPM : 0906603202**  
**Tanda Tangan : *Abdullah***  
**Tanggal : 16 Januari 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Abdullah  
NPM : 0906603202  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : **Analisa Pembangkit Daya Listrik Tenaga Panas  
Matahari**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Dr. Ir. Arman Djohan D**

(.....)

Penguji : **Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo DEA**

(.....)

Penguji : **Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc.**

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Januari 2012

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) **Dr. Ir. Arman Djohan D** selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini
- (2) Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
- (3) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 16 Januari 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdullah  
NPM : 0906603202  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**"ANALISA PEMBANGKIT DAYA LISTRIK TENAGA PANAS  
MATAHARI"**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Januari 2012

Yang menyatakan



( Abdullah )

## ABSTRAK

Nama : Abdullah  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Analisa Pembangkit Daya Listrik Tenaga Panas Matahari.

Pada skripsi ini dilakukan perancangan pembangkit daya listrik menggunakan termokopel tipe k dalam perancangan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara suhu, tegangan serta daya yang dihasilkan dari termokopel yang ditempatkan pada kotak yang memiliki dimensi yang berbeda. Volume kotak berpengaruh pada tegangan keluaran termokopel, volume kotak yang lebih kecil menghasilkan tegangan keluaran termokopel lebih besar dibandingkan kotak bervolume besar. Daya yang dihasilkan dengan menggunakan 1 termokopel sebesar  $1.78 \times 10^{-6}$  Watt sedangkan dengan menggunakan 2 termokopel yang dirangkai secara seri daya yang dihasilkan sebesar  $6.13 \times 10^{-6}$  Watt. Untuk Mendapatkan daya yang lebih besar dapat dilakukan dengan cara menghubungkan secara seri keluaran dari termokopel tipe K

Kata kunci : Termokopel, Kotak Alumunium, Suhu, Tegangan, Daya Listrik

## ABSTRACT

Name : Abdullah  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Analysis of Electrical Power Generation of Sun Thermal Energy

In this final project performed electrical power generation using thermocouple type k in the design aims to determine the ratio between temperature, voltage and power generated from the thermocouple in placed in a box has different dimensions. The volume of the box effect the thermocouple outputt voltage, the smaller volume of the box produces thermocouple output voltage is greater than the large-volume box. The power generated by using a thermocouple of  $1.78 \times 10^{-6}$  Watt where using two thermocouples are connected in series of power generated to  $6.13 \times 10^{-6}$  Watt. To Obtain a greater power can be done by connecting in series the output of the thermocouple type K.

Key word : Thermocouple, Aluminum Box, Temperature, Voltage, Electrical Power

## DAFTAR ISI

Halaman

PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Metodologi Penulisan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Termokopel.....	3
2.2 Prinsip Kerja termokopel.....	8
2.3 Tipe-Tipe Termokopel.....	9
2.4 Metode Pengukuran Termokopel.....	11
2.4.1 Metode Defleksi.....	11
2.4.2 Metode Potensiometer.....	11
2.5 Hubungan Kalor Dan Energi Listrik.....	13
2.6 Kombinasi Logam Termokopel.....	13
2.7 Termokopel Praktis.....	15
2.8 Model Termokopel.....	16
<b>BAB III PERANCANGAN SISTEM.....</b>	<b>20</b>
3.1 Blok Diagram Sistem.....	20
3.2 Cara Kerja Sistem.....	23
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA.....</b>	<b>24</b>
4.1 Data Pengukuran.....	24
4.2 Analisa Data.....	32
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>37</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>38</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Termokopel dengan Voltmeter	6
<b>Gambar 2.2</b> Rangkaian termokopel dengan galvanometer	7
<b>Gambar 2.3</b> Skema dari termokopel	9
<b>Gambar 2.4</b> Rangkaian Termokopel Metoda Defleksi	11
<b>Gambar 2.5</b> Rangkaian Metode Potensiometer	13
<b>Gambar 2.6</b> Industrial Termokopel	16
<b>Gambar 2.7</b> <i>Enclosed Thermocouple Probe and Heat</i>	17
<b>Gambar 2.8</b> <i>Hand-held Probe and Pipe Probe</i>	17
<b>Gambar 2.9</b> <i>Duty Industrial Metal Sheated and High Temperature Ceramic Sheated Thermocouples With Terminal Head Assemblies</i>	18
<b>Gambar 2.10</b> <i>Thermocouple Connectors</i>	19
<b>Gambar 3.1</b> Blok diagram sistem	20
<b>Gambar 3.2</b> Kotak alumunium pada sisitem	21
<b>Gambar 3.3</b> Termokopel yang digunakan pada sistem	22
<b>Gambar 3.4</b> Rangkaian termokopel dengan penguat	22
<b>Gambar 3.4</b> Rangkaian termokopel dengan potensiometer	22
<b>Gambar 4.1</b> Grafik suhu dan tegangan kotak 1 dan 2 sumber panas matahari	33
<b>Gambar 4.2</b> Grafik kalor dan suhu kotak 1 dan 2 sumber panas matahari	34
<b>Gambar 4.3</b> Grafik kalor dan tegangan kotak 1 dan 2 sumber panas matahari	34
<b>Gambar 4.4</b> Grafik suhu dan tegangan kotak 1 sumber panas api kompor	35
<b>Gambar 4.5</b> Grafik suhu dan tegangan kotak 2 sumber panas api kompor	35
<b>Gambar 4.6</b> Grafik suhu dan tegangan kotak 1 sumber panas api kompor permukaan kotak kasar	36
<b>Gambar 4.7</b> Grafik suhu dan tegangan kotak 2 sumber panas api kompor permukaan kotak kasar	36

## DAFTAR TABEL

Halaman

<b>Tabel 2.1</b>	Logam-Logam yang Bisa Digunakan Dalam Pengukuran Temperatur Termoelektrik	14
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil pengukuran pada kotak 1 sumber panas matahari	24
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil pengukuran pada kotak 2 sumber panas matahari	25
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil pengukuran pada kotak 1 sumber panas api kompor	26
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil pengukuran pada kotak 2 sumber panas api kompor	27
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil pengukuran pada kotak 1 permukaan kasar sumber panas api kompor	28
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil pengukuran pada kotak 2 permukaan kasar sumber panas api kompor	29
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil pengukuran pada kotak 1 permukaan kasar sumber panas api kompor termokopel disusun seri	30
<b>Tabel 4.8</b>	Hasil pengukuran pada kotak 1 permukaan kasar sumber panas matahari termokopel disusun seri	31

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pemanfaatan energi alam yang diubah menjadi energi listrik sudah banyak digunakan. Diantaranya energi angin, panas, matahari, uap, air, dll yang dirubah menjadi energi listrik. Energi matahari yang dirubah menjadi energi listrik yang sudah umum digunakan adalah dengan menggunakan sel surya. Sel surya ini mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, namun dengan menggunakan sel surya ini masih terdapat beberapa kendala diantaranya harga dari sel surya yang masih cukup mahal. Kemudian penyerapan energi cahaya matahari yang hanya bias dilakukan pada siang hari.

Selain dengan menggunakan sel surya kita juga dapat menggunakan termokopel sebagai perubah energi matahari menjadi energi listrik. Yaitu dengan merubah energi panas matahari menjadi energi listrik. Selain itu kita dapat menggunakan energi panas lainnya sebagai sumber panas seperti api.

Berdasarkan hal tersebut diatas maka dilakukan perancangan yang meneliti pengaruh perbedaan suhu dalam suatu ruangan yang memiliki dimensi yang berbeda-beda dengan tegangan yang terukur dari termokopel. Yaitu dengan cara menempatkan termokopel pada suatu ruangan tertentu dimana ruangan tersebut terkena sumber panas kemudian kita mengamati perbandingan antara suhu dan tegangan yang dihasilkan oleh termokopel. Sehingga dari hasil perancangan tersebut kita dapat mengetahui perbandingan daya yang dihasilkan dari termokopel tersebut

### **1.2 Tujuan Penulisan**

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk merancang suatu sistem yang dapat mengetahui perbandinga suhu, tegangan dan daya yang dihasilkan dari termokopel. Selain itu skripsi ini juga ditulis untuk memenuhi persyaratan untuk menjadi sarjana teknik

### **Batasan Masalah**

Dalam skripsi ini kami hanya membatasi masalah pada hal-hal berikut:

- a. Perbandingan suhu dan tegangan termokopel pada dimensi kotak yang berbeda
- b. Dimensi kotak yang digunakan 25x25x25 cm dan 15x15x15 cm
- c. Perbandingan daya yang dihasilkan termokopel pada kedua kotak
- d. Perbandingan tegangan dan daya pada termokopel yang disusun seri

### **1.3 Metodologi**

Metodologi yang digunakan dalam penulisan seminar ini adalah dengan studi literature. Proses yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Merumuskan Masalah
2. Mengumpulkan informasi mengenai termokopel
3. Melakukan perancangan dengan melengkapi perangkat yang dibutuhkan
4. Evaluasi dan perbaikan

### **1.4 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut

Bab 1 Pendahuluan , berisi penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan laporan seminar

Bab 2 Tinjauan pustaka, berisi dasar teori yang digunakan dalam analisis dan perancangan pada seminar. Dasar teori yang diangkat antara lain termokopel, jenis-jenis termokopel, cara kerja termokopel, dan cara pengukuran termokopel

Bab 3. Berisi perancangan dari sistem , berisi tahapan dari perancangan sistem,

Bab 4 Berisi data dan analisa

Bab 5 Berisi Kesimpulan dan Saran

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Termokopel**

Pada tahun 1822, Seebeck melakukan percobaan dengan menghubungkan plat bismut diantara kawat-kawat tembaga. Hubungan tersebut diberi suhu yang berbeda. Ternyata pada rangkaian tersebut akan muncul arus listrik. Munculnya arus listrik mengindikasikan adanya beda potensial antara ujung-ujung kedua sambungan.

Dari percobaan Seebeck tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa adanya perbedaan suhu antara kedua sambungan logam tersebut akan menyebabkan munculnya gaya gerak listrik antara ujung-ujung sambungan. Gaya gerak listrik yang muncul ini disebut dengan gaya listrik termo dan sumbernya disebut termokopel

Pada dunia elektronika, termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Termokopel yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C.

Menggunakan logam yang berbeda untuk melengkapi sirkuit akan menghasilkan tegangan yang berbeda, meninggalkan perbedaan kecil tegangan memungkinkan kita melakukan pengukuran, yang bertambah sesuai temperatur. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 microvolt tiap derajat celcius untuk kisaran yang dihasilkan kombinasi logam modern. Beberapa kombinasi menjadi populer sebagai standar industri, dilihat dari biaya, ketersediaanya, kemudahan, titik lebur, kemampuan kimia, stabilitas, dan hasil. Sangat penting diingat bahwa termokopel mengukur perbedaan temperatur di antara 2 titik, bukan temperatur absolut.

Termokopel dapat dihubungkan secara seri satu sama lain untuk membuat termopile, dimana tiap sambungan yang panas diarahkan ke suhu yang lebih tinggi dan semua sambungan dingin ke suhu yang lebih rendah. Dengan begitu, tegangan pada setiap termokopel menjadi naik, yang memungkinkan untuk digunakan pada tegangan yang lebih tinggi. Dengan adanya suhu tetapan pada sambungan dingin, yang berguna untuk pengukuran di laboratorium, secara sederhana termokopel tidak mudah dipakai untuk kebanyakan indikasi sambungan langsung dan instrumen kontrol. Mereka menambahkan sambungan dingin tiruan ke sirkuit mereka yaitu peralatan lain yang sensitif terhadap suhu (seperti termistor atau dioda) untuk mengukur suhu sambungan input pada peralatan, dengan tujuan khusus untuk mengurangi gradiasi suhu di antara ujung-ujungnya. Di sini, tegangan yang berasal dari hubungan dingin yang diketahui dapat disimulasikan, dan koreksi yang baik dapat diaplikasikan. Hal ini dikenal dengan kompensasi hubungan dingin.

Biasanya termokopel dihubungkan dengan alat indikasi oleh kawat yang disebut kabel ekstensi atau kompensasi. Tujuannya sudah jelas. Kabel ekstensi menggunakan kawat-kawat dengan jumlah yang sama dengan konduktor yang dipakai pada Termokopel itu sendiri. Kabel-kabel ini lebih murah daripada kabel termokopel, walaupun tidak terlalu murah, dan biasanya diproduksi pada bentuk yang tepat untuk pengangkutan jarak jauh - umumnya sebagai kawat tertutup fleksibel atau kabel multi inti.

Kabel-kabel ini biasanya memiliki spesifikasi untuk rentang suhu yang lebih besar dari kabel termokopel. Kabel ini direkomendasikan untuk keakuratan tinggi. Kabel kompensasi pada sisi lain, kurang presisi, tetapi murah. Mereka memakai perbedaan kecil, biasanya campuran material konduktor yang murah yang memiliki koefisien termoelektrik yang sama dengan termokopel (bekerja pada rentang suhu terbatas), dengan hasil yang tidak seakurat kabel ekstensi.

Kombinasi ini menghasilkan output yang mirip dengan termokopel, tetapi operasi rentang suhu pada kabel kompensasi dibatasi untuk menjaga agar kesalahan yang diperoleh kecil. Kabel ekstensi atau kompensasi harus dipilih sesuai kebutuhan termokopel. Pemilihan ini menghasilkan tegangan yang

proporsional terhadap beda suhu antara sambungan panas dan dingin, dan kutub harus dihubungkan dengan benar sehingga tegangan tambahan ditambahkan pada tegangan termokopel, menggantikan perbedaan suhu antara sambungan panas dan dingin.

Hubungan antara perbedaan suhu dengan tegangan yang dihasilkan termokopel bukan merupakan fungsi linier melainkan fungsi interpolasi polynomial. Koefisien memiliki  $n$  antara 5 dan 9. Agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat, persamaan biasanya diimplementasikan pada kontroler digital atau disimpan dalam sebuah tabel pengamatan. Beberapa peralatan yang lebih tua menggunakan filter analog.

Kita bayangkan sebatang logam panjang diletakkan dalam medan listrik. Segera setelah dalam logam ada medan listrik, maka elektron bebas akan mendapat gaya medan listrik. Akibat elektron bebas terkumpul pada salah satu ujung logam, maka ujung logam yang lain menjadi positif. Selanjutnya dalam logam akan muncul medan listrik induksi. Makin banyak muatan induksi yang terkumpul pada ujung logam, maka makin besar pula kuat medan listrik induksinya. Akhirnya kuat medan listrik induksi akan sama dengan kuat medan listrik dari luar. Pada keadaan ini potensial listrik pada kedua ujung logam akan sama besar, sehingga elektron bebas akan berhenti mengalir. Alat yang dapat menghasilkan aliran elektron bebas atau arus listrik yang terus bertahan disebut *sumber gaya gerak listrik*. Sedangkan kemampuan untuk membuat agar beda potensial pada kedua ujung logam tetap harganya, disebut *gaya gerak listrik (ggl)*.

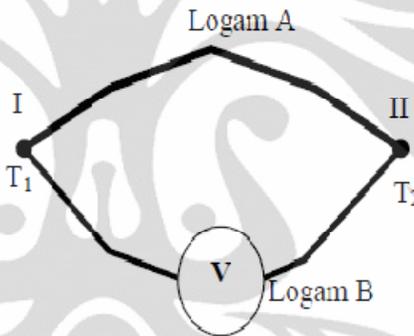
Jika logam di atas kita sambungkan dengan dua kutub suatu sumber ggl, maka untuk mempertahankan beda potensial sumber tetap harganya, dalam sumber ggl haruslah terjadi suatu mekanisme yang hasilnya seolah-olah menyeberangkan muatan negatif dari kutub positif ke kutub negatif. Karena ini melawan medan listrik, maka untuk melaksanakannya diperlukan energi. Maka gaya gerak listrik adalah kerja ( $dW$ ) yang dilakukan untuk memindahkan pengangkut-pengangkut muatan ( $dq$ ) dalam medan listrik. Jika gaya gerak listrik ( $e$ ) dilambangkan dengan  $e$ , maka dapat dinyatakan dengan :

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (2.1)$$

Satuan gaya gerak listrik ( ggl ) adalah joule / coulomb yang sama dengan volt. Gaya gerak listrik ( ggl ) dapat dihasilkan dari beberapa proses , diantaranya proses kimiawi, proses mekanik, proses termal dan lain-lain. Dimana energi dari proses-proses tersebut dapat diubah menjadi energi listrik.

Gaya gerak listrik dapat dihasilkan oleh beberapa sumber diantaranya : elemen kering, elemen volta, termokopel dan lain-lain.

Termokopel merupakan salah satu jenis termometer yang banyak digunakan dalam laboratorium teknik. Dimana termokopel berupa sambungan (junction) dua jenis logam atau logam campuran, yang salah satu sambungan logam tadi diberi perlakuan suhu yang berbeda dengan sambungan lainnya. Pada Gambar 2.1 adalah rangkaian termokopel dengan voltmeter



Gambar 2.1 Termokopel dengan Voltmeter

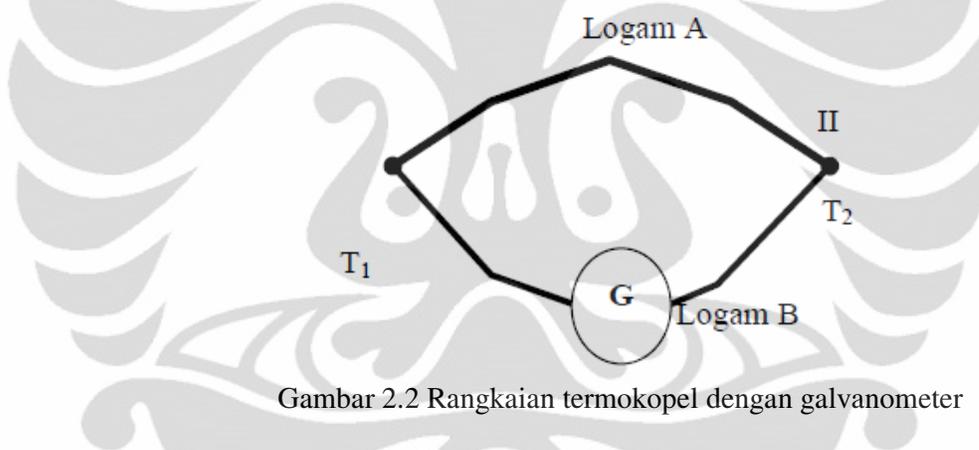
Misal pada sambungan I diberikan suhu  $T_1$  ( dibuat tetap ) dan sambungan II diberi suhu  $T_2$  (  $T_2 > T_1$  ), akibat adanya perbedaan suhu antara kedua sambungan tersebut maka pada voltmeter akan mengalir arus listrik dan terbaca adanya gaya gerak listrik ( ggl ) yang diindikasikan dengan penyimpangan voltmeter pada rangkaian tersebut. Artinya pada termokopel besaran fisis yang berubah dengan berubahnya sedikit suhu adalah gaya gerak listrik (  $\epsilon$  ).

Sambungan logam pada termokopel terdiri dari dua sambungan, yaitu :

- a. *Reference Junction ( Cold Junction )* ,merupakan sambungan acuan yang suhunya dijaga konstan dan biasanya diberi suhu yang dingin (  $\gg 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ).
- b. *Measuring Junction ( Hot Junction )* , merupakan sambungan yang dipakai untuk mengukur suhu atau disebut juga sambungan panas.

Dua buah kawat logam yang berbeda ( A dan B ) yang ujung-ujungnya disambungkan satu sama lain membentuk suatu rangkaian tertutup, bila kedua sambungan itu diberi suhu yang berbeda (  $T_1$  dan  $T_2$  ) dan kita pasang ampermeter ( galvanometer ) pada rangkaian tersebut akan timbul arus listrik (  $I$  ), yang ditunjukkan oleh penyimpangan jarum galvanometer.

Arus tersebut akan terus mengalir selama suhu kedua sambungan berbeda. Gejala perubahan energi termal menjadi energi listrik tersebut disebut dengan efek Seebeck ( gejala Seebeck ). Dan gaya gerak listrik yang membangkitkan arus listrik (  $I$  ) tersebut dinamakan gaya gerak listrik termo ( ggl termo ) atau Seebeck Thermal emf . Gambar 2.2 dibawah ini adalah rangkaian termokopel dengan galvanometer



Gambar 2.2 Rangkaian termokopel dengan galvanometer

Gaya gerak listrik ini merupakan tegangan DC ( *Direct Current* ) sehingga memiliki polaritas . Gaya gerak listrik termo tidak bergantung pada diameter kawat logam maupun panjangnya, akan tetapi ggl termo hanya bergantung pada :

1. Jenis bahan logam
2. Suhu – suhu sambungan (  $T_1$  dan  $T_2$  )

Gaya gerak listrik termo ini sebanding dengan beda suhu antara kedua sambungan

(  $\Delta T = T_2 - T_1$  ), yang dapat didekati dengan baik oleh persamaan :

$$\varepsilon = \alpha ( T_2 - T_1 ) + \beta ( T_2 - T_1 )^2 + \gamma ( T_2 - T_1 )^3 + \dots \quad ( 2.2 )$$

Jika  $\Delta T = T_2 - T_1$  , maka :

$$\varepsilon = \alpha(\Delta T) + \beta (\Delta T)^2 + \gamma (\Delta T)^3 + \dots \quad (2.3)$$

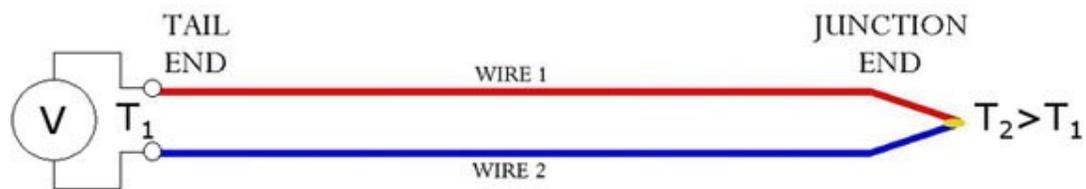
$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  = elektromotansi termal ( konstanta pembanding ), konstanta tersebut bergantung pada jenis bahan yang digunakan.

## 2.2 Prinsip Kerja Termokopel

Prinsip kerja termokopel secara sederhana berupa dua buah kabel dari jenis logam yang berbeda ujungnya, hanya salah satu ujungnya saja, disatukan (dilas). Titik penyatuan ini disebut *hot junction*. Prinsip kerjanya memanfaatkan karakteristik hubungan antara tegangan (volt) dengan temperatur. Setiap jenis logam, pada temperatur tertentu memiliki tegangan tertentu pula. Pada temperature yang sama, logam A memiliki tegangan yang berbeda dengan logam B, terjadilah perbedaan tegangan (kecil sekali, mili Volt) yang dapat di deteksi.

Jika sebuah batang logam dipanaskan pada salah satu ujungnya maka pada ujung tersebut elektron-elektron dalam logam akan bergerak semakin aktif dan akan menempati ruang yang semakin luas, elektron-elektron saling desak dan bergerak ke arah ujung batang yang dipanaskan. Dengan demikian pada ujung batang logam yang dipanaskan terjadi muatan positif.

Kerapatan elektron untuk setiap bahan logam berbeda tergantung dari jenis logam. Jika dua batang logam disatukan salah satu ujungnya, dan kemudian dipanaskan, maka elektron dari batang logam yang memiliki kepadatan tinggi akan bergerak ke batang yang kepadatan elektronnya rendah, dengan demikian terjadilah perbedaan tegangan diantara ujung kedua batang logam yang tidak disatukan atau dipanaskan. Besarnya termolistrik yang mengalir dari titik *hot junction* ke *cold junction* atau sebaliknya, terdeteksi perbedaan tegangan (volt).



Gambar 2.3 Skema dari termokopel

Hubungan antara suhu dan tegangan adalah :

$$\text{Emf} = \int_{T_1}^{T_2} S_{12} \cdot dT = \int_{T_1}^{T_2} (S_1 - S_2) \cdot dT \quad (2.4)$$

Dimana Emf adalah tegangan yang dihasilkan termokopel di ujung pengukuran,  $T_1$  dan  $T_2$  adalah suhu antara referensi dan suhu pengukuran sedangkan  $S_{12}$  adalah koefisien seebeck termokopel. Koefisien Seebeck tergantung pada bahan *thermoelement*. Melihat persamaan 2.4 dapat dilihat bahwa:

1. Tegangan nol diukur jika dua *thermoelements* terbuat dari bahan yang sama. Bahan yang berbeda diperlukan untuk membuat perangkat sensor suhu,
2. Tegangan nol terjadi jika tidak ada perbedaan suhu antara ujung referensi dan ujung pengukuran, perbedaan suhu yang dibutuhkan untuk mengoperasikan termokopel,
3. Koefisien Seebeck yang bergantung pada temperatur.

### 2.3 Tipe-tipe Termokopel

Tersedia beberapa jenis termokopel, tergantung aplikasi penggunaannya

1. Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy))

Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah, tersedia untuk rentang suhu  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 2. Tipe E (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy))

Tipe E memiliki output yang besar ( $68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.

## 3. Tipe J (Iron / Constantan)

Rentangnya terbatas ( $-40$  hingga  $+750^\circ\text{C}$ ) membuatnya kurang populer dibanding tipe K Tipe J memiliki sensitivitas sekitar  $\sim 52 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

## 4. Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))

Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas  $1200^\circ\text{C}$ . Sensitivitasnya sekitar  $39 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  pada  $900^\circ\text{C}$ , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K

Termokopel tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama. Mereka adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitivitasnya rendah (sekitar  $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi ( $>300^\circ\text{C}$ ).

## 5. Type B (Platinum-Rhodium/Pt-Rh)

Cocok mengukur suhu di atas  $1800^\circ\text{C}$ . Tipe B memberi output yang sama pada suhu  $0^\circ\text{C}$  hingga  $42^\circ\text{C}$  sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu  $50^\circ\text{C}$ .

## 6. Type R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium)

Cocok mengukur suhu di atas  $1600^\circ\text{C}$ . sensitivitas rendah ( $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.

## 7. Type S (Platinum /Platinum with 10% Rhodium)

Cocok mengukur suhu di atas  $1600^\circ\text{C}$ . sensitivitas rendah ( $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas ( $1064.43^\circ\text{C}$ ).

## 8. Type T (Copper / Constantan)

Cocok untuk pengukuran antara  $-200$  to  $350$  °C. Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Type T memiliki sensitifitas  $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

## 2.4 Metode Pengukuran Termokopel

### 2.4.1 Metode Defleksi

Pengukuran berdasarkan metoda defleksi ini paling sederhana. Tegangan gerak listrik yang timbul karena adanya perbedaan suhu antara titik ukur  $T_1$  dan terminal keluar  $T_2$  dari instrumen pengukur, diukur dengan suatu motor kumparan putar. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4 di bawah ini :



Gambar 2.4 Rangkaian Termokopel Metoda Defleksi

Arus yang mengalir pada rangkaian dapat ditulis sebagai berikut :

$$I = \frac{E}{R_g + R_x} \quad (2.5)$$

dimana :

$E$  = ggl termokopel

$R_g$  = tahanan dalam meter

$R_x$  = tahanan kawat dan tahanan dalam termokopel

Tegangan yang dapat dibaca pada meter

$$E_g = \frac{R_g \cdot E}{R_g + R_x} \quad (2.6)$$

Persamaan 2.6 dapat diubah menjadi:

$$E_g = \frac{E}{1 + \frac{R_x}{R_g}} \quad (2.7)$$

$R_x$  akan membawa kesalahan pembacaan pada meter. Untuk mengatasi kesalahan itu. Menurut persamaan , bila  $E_g$  dibuat sama dengan  $E$ , maka  $R_x/R_g$  harus sama dengan nol. Jadi  $R_x$  harus nol atau mendekati nol, atau nilai  $R_x$  harus jauh lebih kecil daripada  $R_g$ . Tetapi dalam prakteknya ini sulit dicapai.  $R_x$  dengan kawat penyambung yang cukup panjang susah dikompensasi. metode defleksi ini masih dipakai dalam proses industri yang meminta ketelitian tidak tinggi.

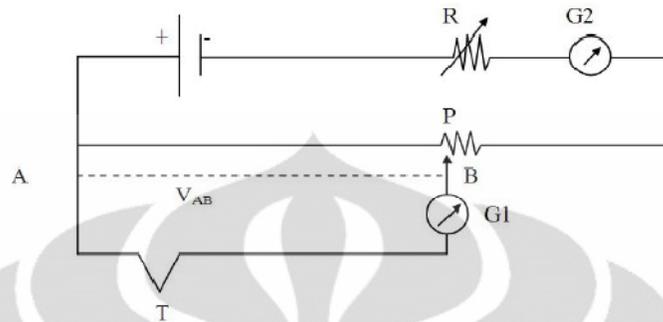
#### 2.4.2 Metode Potensiometer

Pada metode ini tegangan yang akan diukur dibandingkan dengan tegangan yang telah kita ketahui dan dapat diatur. Potensimeter P (Gambar 2.5) kita atur sehingga tegangan VAB sama dengan tegangan termokopel yang diukur pada temperatur *hot junction* (T). Bila kedua tegangan ini sudah sama besar, galvanometer G1 akan menunjukkan nol, besarnya VAB tergantung pada arus I.

Arus ini dapat diatur dengan tahanan geser R dan dibaca pada Galvanometer G2. Bila arus I dipilih pada nilai tertentu maka posisi lengan potensiometer akan merupakan ukuran mengenai besar kecilnya tegangan yang diukur.

Metode ini dapat mengukur dengan teliti, tapi memakan waktu lama. Pembacaan tidak dapat secara langsung, karena hanya dipakai untuk kalibrasi saja. Dengan kemajuan dibidang teknologi semikonduktor, maka persoalan ini menjadi mudah. terutama dengan munculnya DC amplifier berbentuk IC, yang mempunyai drift kecil, input impedansi besar, output impedansi kecil. Maka penggunaan termokopel pada rangkaian elektronika tidak sesulit dahulu. Pengukuran dengan DC amplifier yang berketelitian cukup tinggi dapat dicapai.

Seperti pada Gambar 2.5 dibawah ini rangkaian termokopel dengan metode potensiometer :



Gambar 2.5 Rangkaian Termokopel Metode Potensiometer

### 2.5 Hubungan Kalor Dan Energi Listrik

Kalor merupakan bentuk energi maka dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Berdasarkan Hukum Kekekalan Energi maka energi listrik dapat berubah menjadi energi kalor dan juga sebaliknya energi kalor dapat berubah menjadi energi listrik. Dalam pembahasan ini hanya akan diulas tentang hubungan energi listrik dengan energi kalor. Besarnya energi listrik yang diubah atau diserap sama dengan besar kalor yang dihasilkan. Sehingga secara matematis dapat dirumuskan:

$$Q = W$$

$$m \cdot c \cdot \Delta t = V \cdot I \cdot t$$

$$m \cdot c \cdot \Delta t = \frac{V^2}{R} \cdot t$$

dimana :

m : Massa benda dalam (kg)

c : Kalor Jenis benda ( J/Kg)

$\Delta t$  : Perbedaan suhu ( °C)

V : Tegangan (volt)

R : Hambatan ( ohm)

t : Waktu ( *sekon*)

## 2.6 Kombinasi Logam Termokopel

Termokopel harus mempunyai karakteristik yang dikehendaki seperti :

1. Gaya gerak listrik yang dihasilkan relatif besar, sehingga mudah diukur dengan kesalahan kecil.
2. Hubungan tegangan-temperatur selinier mungkin.
3. Tahan terhadap oksidasi dan korosi.
4. Mudah kalibrasinya.
5. Mempunyai stabilitas yang baik, baik terhadap waktu maupun keadaan sekeliling.
6. Logamnya harus dapat dibuat secara uniform
7. Titik leleh logam tinggi

Logam-logam yang biasa digunakan dalam pengukuran temperatur termoelektrik dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Logam-Logam yang Bisa Digunakan Dalam Pengukuran Temperatur Termoelektrik

Max. Temp C	Allowable Atmosphere (Hot)	Material names	Color Code	Type ANSI	Avg. Output V/100 F	Accuracy	
						Std.	Spec.
2800	Inert,II, Vac	Tungsten/tungsten 26% rhenium	-	-	0,86	-	-
2760	Inert, H, Vac	Tungsten 5% rhenium/ tungsten 26% rhenium	-	-	0,76	-	-
2210	Inert, H, Vac	Tungsten 3% rhenium/ tungsten 25% rhenium	-	-	0,74	-	-
1800	Oxidizing	Platinum 30% rhodium/ platinum 6% rhodium	B	-	0,43	1/2%	1/4%
1600	Oxidizing	Platinum 13% rhodium/ platinum	R	-	0,64	1/4%	1/4%
1540	Oxidizing	Platinum 10% rhodium/ platinum	S	-	0,37	1/4%	1/4%
1300	Oxidizing	Platine1 II (5355)/platine1 II (/6/4)	-	-	2,20	5/8%	-
1260	Oxidizing	Chonel/Alumel, Topel/Nial, Advanced T <sub>1</sub> /T <sub>2</sub> , Ternu, Kanthal P/N		Yellow -red	2,20	4 F 3/4%	2 F 3/8%
980	Reducing	Chromel/ Constantan	E	Purple -red	4,20	1/2%	3/8%
875	Reducing	Iron/Konstantan	J	White -red	3,00	4 F 3/4%	2 F 3/8%
400	Reducing	Copper/constantan	T	Blue -red	2,30	3/4%	3/8%

## 2.7 Termokopel Praktis

Alasan kepopuleran termokopel tidak hanya karena jenisnya yang banyak sehingga dapat mencakup hampir seluruh suhu, lingkungan dan akurasi, atau fakta bahwa termokopel kecil bentuknya. Alasan lainnya adalah kemudahan pembuatan dan aplikasi, serta keaneka ragaman *housing* dan *package* yang dapat memenuhi hampir semua aplikasi yang ada.

Untuk pemakaian tunggal, termokopel dapat dengan mudah dibuat dari suatu kawat termokopel atau kabel dengan pelapis, bahan pelapis dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan pemakaian, dan hal yang sama berlaku untuk kabel itu sendiri. Untuk diameter kawat, dapat digunakan ukuran 0,1 mm OD sampai 3mm atau lebih (terutama untuk keperluan industri).

Sambungan pengukur terbaik dapat dibuat dengan cara mengelas dua buah kawat menjadi satu. Men-solder atau memilinya kurang disukai, walaupun dengan menambahkan clamping screw dalam blok penghubung, faktor keamanan yang lebih besar dapat diperoleh. Kunci kesuksesan adalah hubungan elektrik yang baik yang tidak akan mengganggu komposisi kawat termokopel itu sendiri. Selain itu juga harus dipertimbangkan kondisi operasi yang akan dihadapinya.

Termokopel logam dasar biasanya dilas secara elektrik menggunakan argon, sementara termokopel platinum dapat dilas menggunakan api oksidasi-hidrogen. Selain itu, kawat termokopel logam dasar biasanya sudah di-*annealed* sehingga bisa langsung digunakan setelah pengelasan. Hal ini tidak bisa dilakukan terhadap termokopel platinum yang harus di-*annealed* setelah memasukkan kawat kedalam insulator dan membuat sambungan.

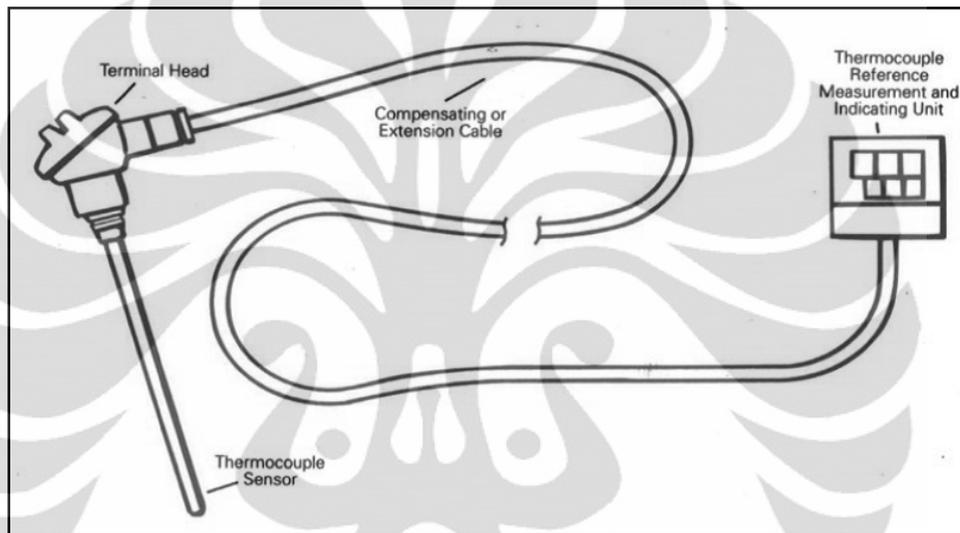
Di ujung lain dari kabel, setiap kawat termokopel dapat dihubungkan dengan kawat tembaga untuk membuat sambungan referensi. Pengelasan merupakan pilihan terbaik, tetapi penyolderan dengan perak yang tidak terlalu banyak dalam bentuk pasta ditambah dengan api kecil adalah alternatif yang baik selama semua fluks korosi sudah dibuang. Sambungan bisa dimasukkan ke dalam closed end tube atau dimasukkan ke dalam campuran air es.

Metode konstruksi termokopel ini sangat sederhana, berguna dan cocok untuk percobaan di dalam laboratorium. Akurasi akan bagus karena setiap elemen

akan diletakkan dekat dengan lokasi yang akan diukur dan alat ini mendekati ideal secara teoritis

## 2.8 Model Termokopel

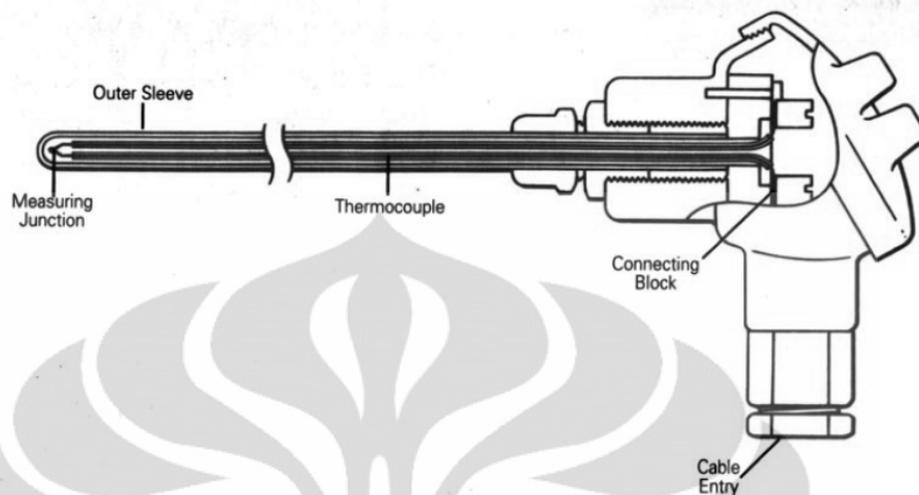
Sensor termokopel dapat dibeli sebagai unit yang terpisah dalam berbagai macam tipe dan model. Pada tingkat dasar ada termokopel kawat terbuka dengan sambungan yang dilas seperti diterangkan sebelumnya. Pada gambar 2.6 dibawah ini adalah termokopel yang digunakan pada industri



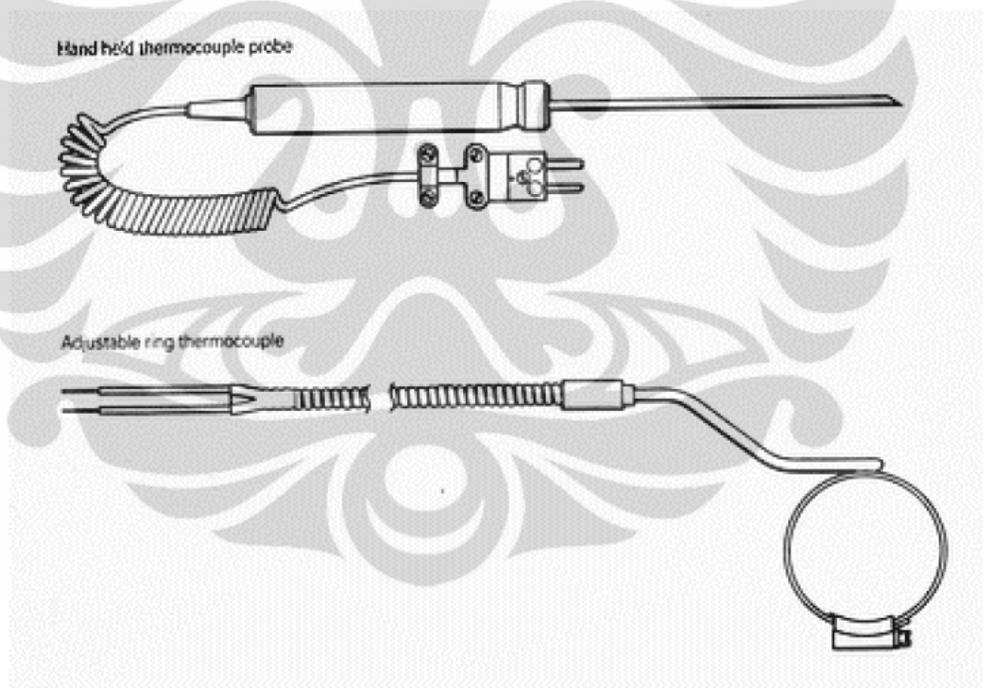
Gambar 2.6 Industrial Termokopel

Termokopel ini dapat dilapisi sesuai kebutuhan penggunaan, mulai dari PVC sampai keramik. Kadangkala, konduktor termokopel dimasukkan ke dalam suatu probe yang tertutup salah satu ujungnya, atau thermowell yang dibuat dari campuran logam yang tahan panas atau material refraktori (gambar 2.7)

Tersedia berbagai macam ukuran dan model untuk berbagai aplikasi. Ukurannya mulai dari sub-miniatur (diameter sekitar 0,25 mm - dengan pelapis), miniatur, sampai standar (sekitar 6 mm) dan lebih (lebih dari 20 mm)



Gambar 2.7 *Enclosed Thermocouple Probe and Heat*

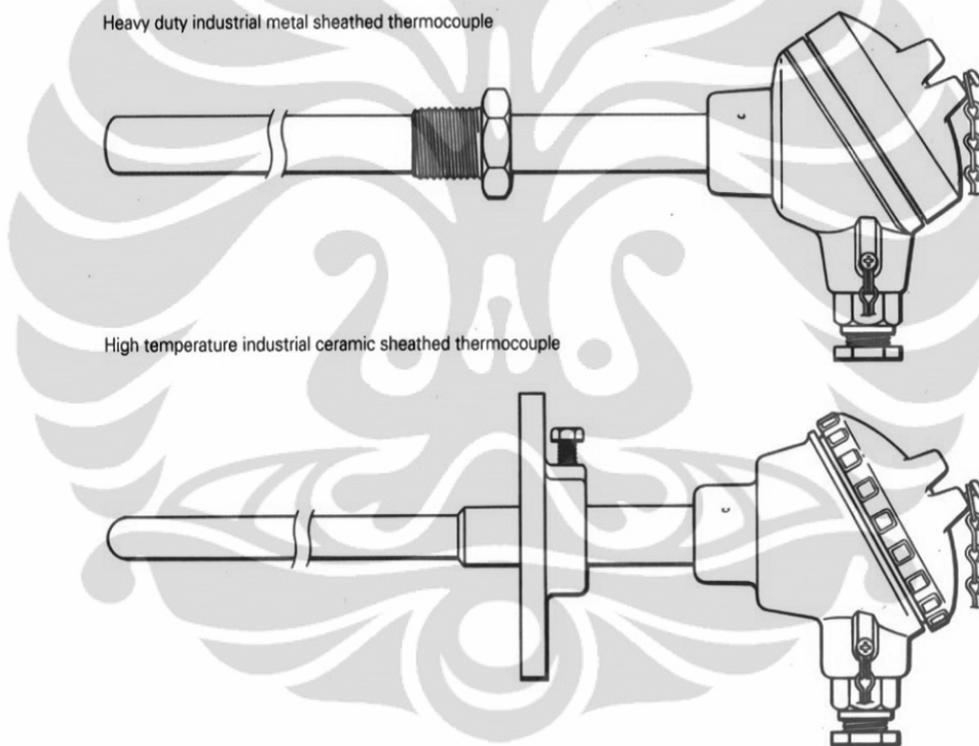


Gambar 2.8 *Hand-held Probe and Pipe Probe*

Untuk modelnya, ada alat pengukur serbaguna dengan pelapis (*general purpose welded sheath*), termokopel model baut, termokopel yang dipegang oleh tangan, termokopel permukaan yang dapat dipasang langsung pada pipa dengan berbagai ukuran, termokopel yang dirancang untuk mengetahui suatu titik atau permukaan bergerak, dan sistem yang bisa dilepas, dan sebagainya dimana

semuanya dilindungi oleh bahan insulator dan pelapis (gambar 2.8) dengan atau tanpa *grounded sheaths*

Selain itu, tersedia probe terlindung untuk pengukuran suhu autoclave (yang ditambah *flexible stainless steel conduit* dan *pressure entry glands*), termokopel tipe bayonet dan kompresi (untuk plastik dan industri lainnya) dan termokopel dengan pelindung untuk pekerjaan berat dan suhu tinggi (Gambar 2.9) dengan pilihan seperti *head-mounting terminal assemblies* dan *thermowell extension pieces*.

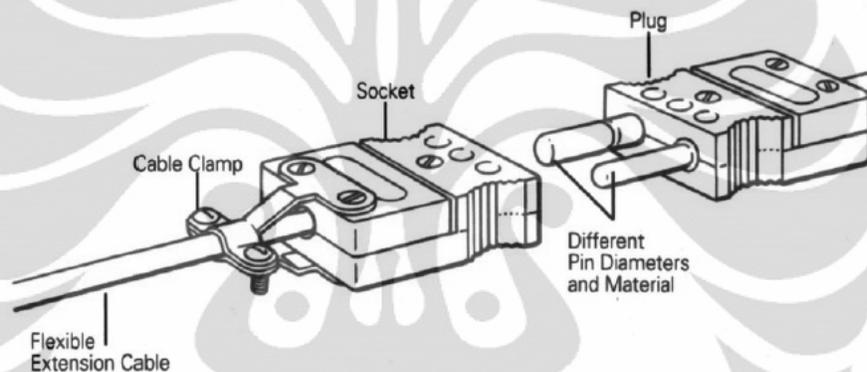


Gambar 2.9 *Duty Industrial Metal Sheated and High Temperature Ceramic Sheated Thermocouples With Terminal Head Assemblies*

Secara umum, pemasok telah berhati-hati dalam memastikan bahwa konduktor telah diproduksi dengan benar, dan dimasukkan ke dalam rumah sensor dalam kondisi terkendali. Sehingga, besar perubahan yang dialami oleh bagian yang terpanaskan pada termokopel selama pemakaian dapat diminimalkan. Hal ini sangat penting, karena unit ini akan selalu berada pada daerah dengan perbedaan suhu yang tinggi, dan akan berpengaruh terhadap tegangan output.

Bentuk konstruksi alternatif menggunakan kabel mineral dengan pelapis (*MI-mineral insulated*), dimana konduktor termokopel dimasukkan ke dalam bubuk logam yang dipadatkan, dan dilindungi oleh pelapis logam (seperti stainless steel atau campuran nikel) untuk membentuk sambungan yang kedap udara. Bentuk ini tersedia mulai dari ukuran 0,25 mm sampai 10,8 mm, sementara panjangnya mulai dari beberapa milimeter sampai sepuluh meter dan lebih.

Untuk penggunaan tertentu, dimana tanggapan sangat cepat perlu diberikan, sangat menguntungkan bagi termokopel MI untuk diproduksi dengan sambungan yang terbuka. Tetapi jenis ini memerlukan keahlian dari penggunaannya.



Gambar 2-10 *Therrmocouple Connectors*

Sensor termokopel sering dilengkapi dengan penghubung ke kotak terminal yang mempermudah sambungan dengan sirkuit lainnya. Sebagai alternatif, dapat dipasang plug khusus, dimana pin penghubung dibuat dari bahan *thermoelectric* yang sesuai ( Gambar 2.10).

## BAB III PERANCANGAN SISTEM

### 3.1 Blok Diagram Sistem

Gambar 3.1 dibawah ini merupakan blok diagram dari sistem yang akan dibuat, pada sistem ini kita merancang suatu alat yang dapat mengetahui perbandingan antara panas dengan tegangan yang dihasilkan termokopel. Pada sistem ini menggunakan beberapa komponen alat antara lain:

1. Termometer
2. Kotak Alumunium
3. Voltmeter
4. Termokopel
5. Op-Amp Penguat



Gambar 3.1. Blok Diagram Sistem

Termometer digunakan sebagai alat untuk mengukur suhu pada kotak alumunium, dimana suhu pada kotak akan mengalami perubahan akibat panas yang diterima kotak tersebut

Kotak alumunium digunakan untuk menyerap panas matahari kotak tersebut dicat berwarna hitam sehingga dapat lebih bagus dalam penyerapan panas matahari, dalam perancanganya akan dibuat 2 kotak yang memiliki dimensi yang berbeda-beda untuk mengetahui perbedaan suhu yang diserap berdasarkan dimensi kotaknya. Kotak pertama (1) memiliki ukuran 15 x 15 x 15 cm sedangkan kotak kedua (2) memiliki ukuran 25 x 25 x 25 cm. Kotak pertama memiliki

volume  $3375 \text{ cm}^3$  dengan berat 0.7 kg sedangkan kotak kedua memiliki volume  $15625 \text{ cm}^3$  dengan berat 2.1 kg dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini



Gambar 3.2 Kotak alumunium pada sistem

Termokopel digunakan sebagai sensor suhu pada perancangan sistem ini hasil keluaran termokopel adalah berupa tegangan yang berubah dengan perubahan suhu yang diterima. Berikut ini spesifikasi termokopel yang digunakan

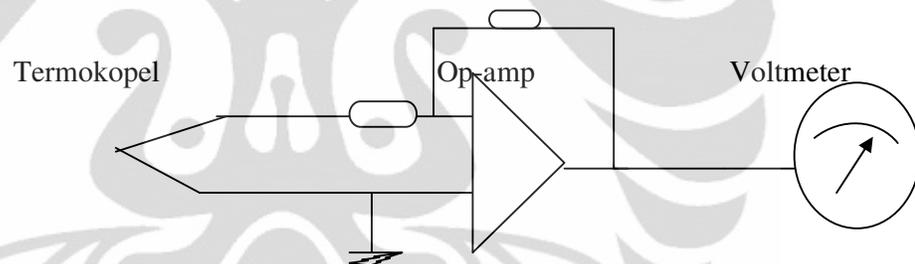
Tipe : K (Chromel-Alumel)  
 Kabel Isolasi : Poli-Vinyl Chloride (PVC)  
 Panjang Kabel : (2 meter)  
 Penggunaan : Air, Gas  
 Probe Panjang : (200mm)  
 Probe Bahan : Stainless Steel  
 Probe Rentang Suhu : -(-196 ~ 600 ° C)

Dapat dilihat pada Gambar 3.3 sensor termokopel yang digunakan dibawah ini:



Gamabar 3.3 Termokopel yang digunakan pada sistem

Op-Amp digunakan untuk menguatkan tegangan output dari termokopel karena keluran tegangan dari termokopel kecil maka digunakan penguat untuk menaikkan tegangan sehingga tegangan dapat terukur oleh voltmeter. Dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini :



Gambar 3.4 Rangkaian Termokopel dengan Penguat

Untuk mengetahui nilai resistansi pada termokopel maka digunakan potensiometer. Dapat dilihat pada gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5 Rangkaian Termokopel Dengan Potensiometer

### 3.2 Cara kerja sistem

Prinsip kerja dari sistem ini adalah mengukur perbandingan suhu dan tegangan yang dihasilkan oleh termokopel. Pada perancangan ini kita membuat sebuah kotak alumunium yang dicat berwarna hitam kotak ini berfungsi untuk menerima panas matahari dan api kompor kotak ini terdapat dua ukuran yang berbeda yaitu memiliki lebar dan panjang berbeda. Pada kotak tersebut kita menempatkan thermometer dan termokopel, thermometer berfungsi untuk mengukur suhu yang diterima oleh kotak alumunium tersebut dan suhu tersebut digunakan sebagai input panas dari termokopel.

Panas yang diterima oleh termokopel berubah menjadi tegangan pada keluran termokopel.. Kemudian kita mengamati setiap perubahan suhu yang terjadi dengan tegangan yang dihasilkan oleh termokopel, data tersebut kemudian kita kumpulkan dan catat. Sehingga dari data yang didapat kita dapat menganalisa perbandingan antara suhu dan tegangan pada termokopel. Serta dimensi dari kotak yang digunakan terhadap pengaruh penyerapan panas pada termokopel.

**BAB IV**  
**DATA DAN ANALISA**

**4.1 Data Pengukuran**

Hasil pengukuran perbandingan suhu dan tegangan sumber panas matahari pada kotak 1 permukaan halus dapat dilihat pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Hasil pengukuran pada kotak 1 sumber panas matahari

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>	<b>Tegangan Dengan Penguatan (V)</b>
32	0,1	481.824	0,095
36	0,2	1124.256	0,19
38	0,3	1445.472	0,29
40	0,4	1766.688	0,38
41	0,5	1927.296	0,48
43	0,5	2248.512	0,48
44	0,6	2409.12	0,57
45	0,6	2569.728	0,57
46	0,7	2730.336	0,68
47	0,7	2890.944	0,68
49	0,8	3212.16	0,76
50	0,8	3372.768	0,76
52	0,9	3693.984	0,86
53	1,0	3854.592	0,95
54	1,0	4015.2	0,95
55	1,1	4175.808	1,05
56	1,1	4336.416	1,05
57	1,2	4497.024	1,15
58	1,2	4657.632	1,15

Hasil pengukuran perbandingan suhu dan tegangan sumber panas matahari pada kotak 2 permukaan halus dapat dilihat pada table 4.2:

Tabel 4.2 Hasil pengukuran pada kotak 2 sumber panas matahari

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>	<b>Tegangan Dengan Penguatan (V)</b>
32	0.1	1720.8	0,095
34	0.1	2868	0,095
36	0.2	4015.2	0,19
37	0.2	4588.8	0,19
38	0.3	5162.4	0,29
40	0.4	6309.6	0,38
41	0.5	6883.2	0,48
43	0.5	8030.4	0,48
44	0.6	8604	0,57
45	0.6	9177.6	0,57
46	0.7	9751.2	0,68
47	0.7	10324.8	0,68
49	0.8	11472	0,76
50	0.8	12045.6	0,76
52	0.9	13192.8	0,86

Hasil pengukuran perbandingan suhu dan tegangan sumber panas api kompor pada kotak 1 permukaan halus dapat dilihat pada Tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Hasil pengukuran pada kotak 1 sumber panas api kompor

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>	<b>Tegangan Dengan Penguatan (V)</b>
30	0.1	160.608	0.1
36	0.3	1124.256	0.3
40	0.5	1766.688	0.5
46	0.8	2730.336	0.8
50	1	3372.768	1
54	1.2	4015.2	1.2
59	1.4	4818.24	1.4
65	1.7	5781.888	1.7
70	2	6584.928	2
75	2.3	7387.968	2.3
77	2.4	7709.184	2.4
82	2.6	8512.224	2.6
86	2.8	9154.656	2.8
90	3	9797.088	3
96	3.4	10760.74	3.4
98	3.5	11081.95	3.5
100	3.6	11403.17	3.6
105	3.9	12206.21	3.9
110	4.2	13009.25	4.2
116	4.5	13972.9	4.5
118	4.6	14294.11	4.6
120	5	14615.33	5

Hasil pengukuran perbandingan suhu dan tegangan sumber panas api kompor pada kotak 25x 25x25 cm permukaan halus dapat dilihat pada table 4.4:

Tabel 4.4 Hasil pengukuran pada kotak 2 sumber panas api kompor

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>	<b>Tegangan Dengan Penguatan (V)</b>
30	0.1	458.88	0.1
32	0.1	1376.64	0.1
34	0.2	2294.4	0.2
40	0.4	5047.68	0.4
45	0.7	7342.08	0.7
50	0.9	9636.48	0.9
51	1	10095.36	1
58	1.4	13307.52	1.4
60	1.5	14225.28	1.5
64	1.7	16060.8	1.7
66	1.8	16978.56	1.8
69	2	18355.2	2
70	2.1	18814.08	2.1
73	2.2	20190.72	2.2
75	2.3	21108.48	2.3
78	2.7	22485.12	2.7
79	2.8	22944	2.8
80	2.8	23402.88	2.8

Hasil pengukuran perbandingan suhu dan tegangan sumber panas api kompor pada kotak 1 permukaan kasar dapat dilihat pada Tabel 4.5 :

Tabel 4.5 Hasil pengukuran pada kotak 1 permukaan kasar sumber panas api kompor

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>	<b>Tegangan Dengan Penguatan (V)</b>
30	0.1	160.608	0.1
36	0.3	1124.256	0.3
40	0.5	1766.688	0.5
46	0.8	2730.336	0.8
50	1	3372.768	1
54	1.2	4015.2	1.2
59	1.4	4818.24	1.4
65	1.7	5781.888	1.7
70	2	6584.928	2
75	2.3	7387.968	2.3
77	2.4	7709.184	2.4
82	2.6	8512.224	2.6
86	2.8	9154.656	2.8
90	3	9797.088	3
96	3.4	10760.74	3.4
100	3.6	11403.17	3.6
105	3.9	12206.21	3.9
110	4.2	13009.25	4.2
116	4.5	13972.9	4.5
120	5	14615.33	5
130	5,3	16221.41	5.3

Hasil pengukuran perbandingan suhu dan tegangan sumber panas api kompor pada kotak 2 permukaan kasar dapat dilihat pada table 4.6:

Tabel 4.6 Hasil pengukuran pada kotak 1 permukaan kasar sumber panas api kompor

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>	<b>Tegangan Dengan Penguatan (V)</b>
30	0.1	458.88	0.1
32	0.1	1376.64	0.1
34	0.2	2294.4	0.2
40	0.4	5047.68	0.4
45	0.7	7342.08	0.7
50	0.9	9636.48	0.9
51	1	10095.36	1
58	1.4	13307.52	1.4
60	1.5	14225.28	1.5
64	1.7	16060.8	1.7
66	1.8	16978.56	1.8
69	2	18355.2	2
70	2.1	18814.08	2.1
73	2.2	20190.72	2.2
75	2.3	21108.48	2.3
78	2.7	22485.12	2.7
79	2.8	22944	2.8
80	2.8	23402.88	2.8

Hasil pengukuran pada kotak 1 dengan menyusun secara seri dua termokopel pada permukaan kotak kasar sumber panas api kompor dapat dilihat pada table 4.7

Tabel 4.7 Hasil pengukuran pada kotak 1 permukaan kasar sumber panas api kompor termokopel disusun seri

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>
30	0.2	160.608
36	0.6	1124.256
40	1	1766.688
46	1.6	2730.336
50	2	3372.768
54	2.3	4015.2
59	2.8	4818.24
65	3.3	5781.888
70	4	6584.928
75	4.6	7387.968
77	4.8	7709.184
82	5.2	8512.224
86	5.6	9154.656
90	6	9797.088
96	6.8	10760.74
100	7.2	11403.17
105	7.8	12206.21
110	8.4	13009.25
116	9	13972.9
120	10	14615.33
130	10.8	16221.41

Hasil pengukuran pada kotak 1 dengan menyusun secara seri dua termokopel pada permukaan kotak kasar sumber panas matahari dapat dilihat pada table 4.8

Tabel 4.8 Hasil pengukuran pada kotak 1 permukaan kasar sumber panas matahari termokopel disusun seri

<b>Suhu ( dalam derajat celcius )</b>	<b>Tegangan (dalam mV)</b>	<b>Kalor (kalori)</b>
32	0.2	481.824
36	0.4	1124.256
38	0.6	1445.472
40	0.8	1766.688
41	1	1927.296
43	1	2248.512
44	1.2	2409.12
45	1.2	2569.728
46	1.4	2730.336
47	1.4	2890.944
49	1.6	3212.16
50	1.6	3372.768
52	1.8	3693.984
53	2	3854.592
54	2	4015.2
55	2.2	4175.808
56	2.2	4336.416
57	2.4	4497.024
58	2.4	4657.632

#### 4.2 Analisa Data

Besar resistansi pada termokopel yang terukur dengan menggunakan potensiometer adalah  $14 \Omega$ , arus ( $I$ ) =  $V/R$  dan daya listrik adalah ( $P$ )=  $V \cdot I$

Pada kotak 1 panas maksimum yang dihasilkan dari sumber panas matahari sebesar  $58^{\circ}\text{C}$  dengan tegangan termokopel yang dihasilkan  $1.2 \text{ mV}$  maka

$$I=V/R = 0.0012 \text{ V} / 14 \Omega = 8.57 \times 10^{-5} \text{ A}$$

$$P= V \cdot I = 0.0012 \text{ V} \times 8.57 \times 10^{-5} \text{ A} = 1.03 \times 10^{-7} \text{ Watt}$$

Pada kotak 2 panas maksimum sebesar  $52^{\circ}\text{C}$  dengan tegangan termokopel yang dihasilkan  $0,9 \text{ mV}$  maka

$$I=V/R = 0.0009 \text{ V} / 14 \Omega = 6.42 \times 10^{-5} \text{ A}$$

$$P= V \cdot I = 0.0009 \text{ V} \times 6.42 \times 10^{-5} \text{ A} = 0.58 \times 10^{-7} \text{ Watt}$$

Pada kotak 1 panas maksimum yang dihasilkan dari sumber panas api kompor sebesar  $120^{\circ}\text{C}$  dengan tegangan termokopel yang dihasilkan  $5 \text{ mV}$  maka

$$I=V/R = 0.005 \text{ V} / 14 \Omega = 3.57 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$P= V \cdot I = 0.005 \text{ V} \times 3.57 \times 10^{-4} \text{ A} = 1.78 \times 10^{-6} \text{ Watt}$$

Pada kotak 2 sebesar  $80^{\circ}\text{C}$  dengan tegangan termokopel yang dihasilkan  $2,8 \text{ mV}$  maka

$$I=V/R = 0.0028 \text{ V} / 14 \Omega = 2 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$P= V \cdot I = 0.0028 \text{ V} \times 2 \times 10^{-4} \text{ A} = 5.6 \times 10^{-7} \text{ Watt}$$

Besar resistansi pada termokopel yang disusun secara seri dengan menggunakan potensiometer  $19 \Omega$

Pada kotak 1 panas maksimum yang dihasilkan dari sumber panas matahari sebesar  $58^{\circ}\text{C}$  dengan tegangan termokopel yang dihasilkan  $2.4\text{ mV}$  maka  $I=V/R = 0.0024\text{ V} / 19\ \Omega = 1.26 \times 10^{-4}\text{ A}$

$$P= V \cdot I = 0.0024\text{ V} \times 1.26 \times 10^{-4}\text{ A} = 3.03 \times 10^{-7}\text{ Watt}$$

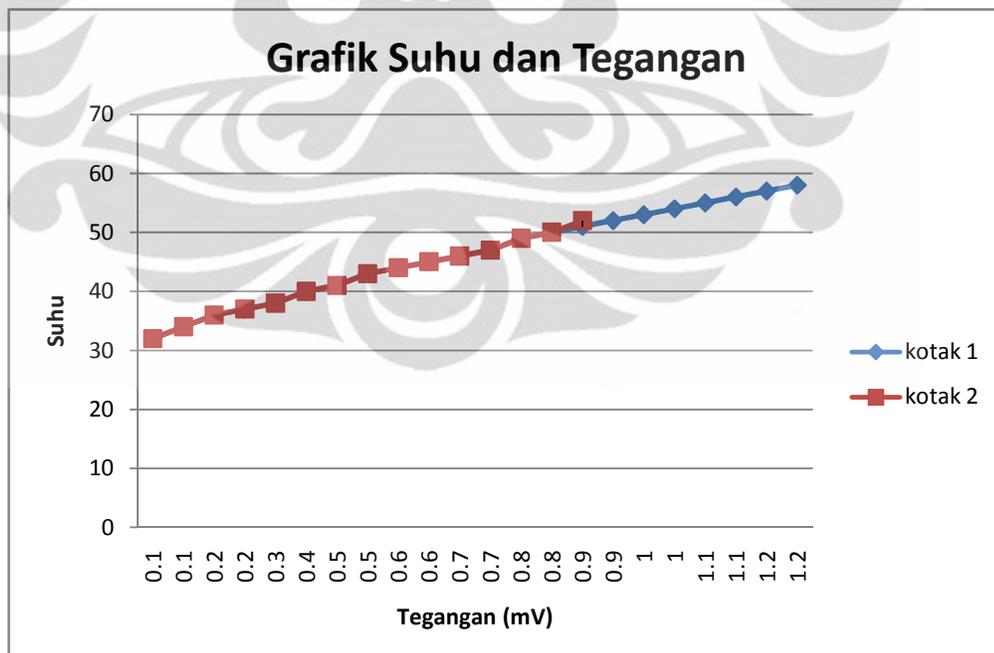
Pada kotak 1 panas maksimum yang dihasilkan dari sumber panas api kompor sebesar  $130^{\circ}\text{C}$  dengan tegangan termokopel yang dihasilkan  $10.8\text{ mV}$  maka

$$I=V/R = 0.0108\text{ V} / 19\ \Omega = 5.68 \times 10^{-4}\text{ A}$$

$$P= V \cdot I = 0.0108\text{ V} \times 5.68 \times 10^{-4}\text{ A} = 6.13 \times 10^{-6}\text{ Watt}$$

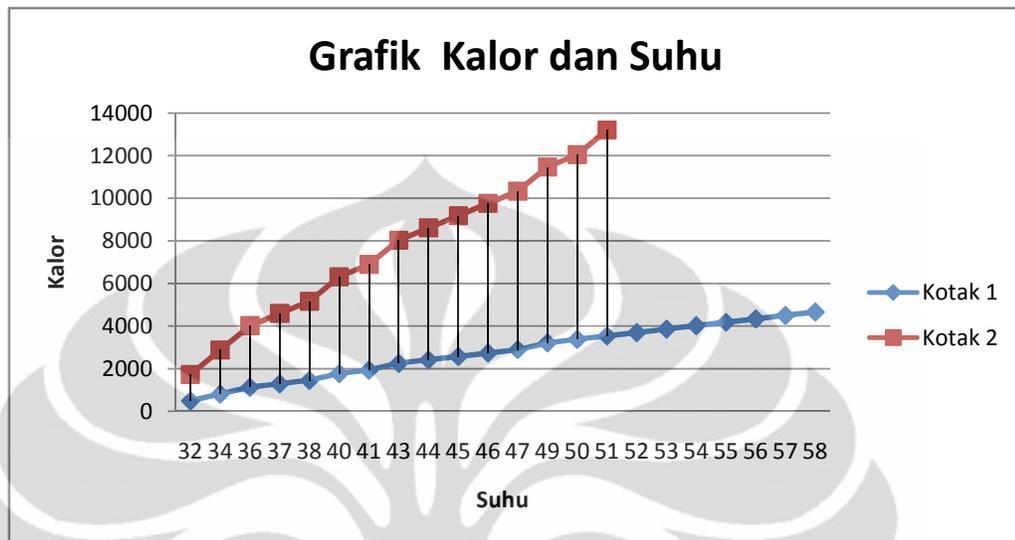
Dari analisa tersebut dapat dilihat pada kotak 1 sumber panas api kompor daya yang dihasilkan dengan menggunakan 1 termokopel sebesar  $1.78 \times 10^{-6}\text{ Watt}$  sedangkan dengan menggunakan 2 termokopel yang dirangkai secara seri daya yang dihasilkan sebesar  $6.13 \times 10^{-6}\text{ Watt}$

Grafik perbandingan suhu dan tegangan pada kotak 1 dan 2 sumber panas matahari pada Gambar 4.1



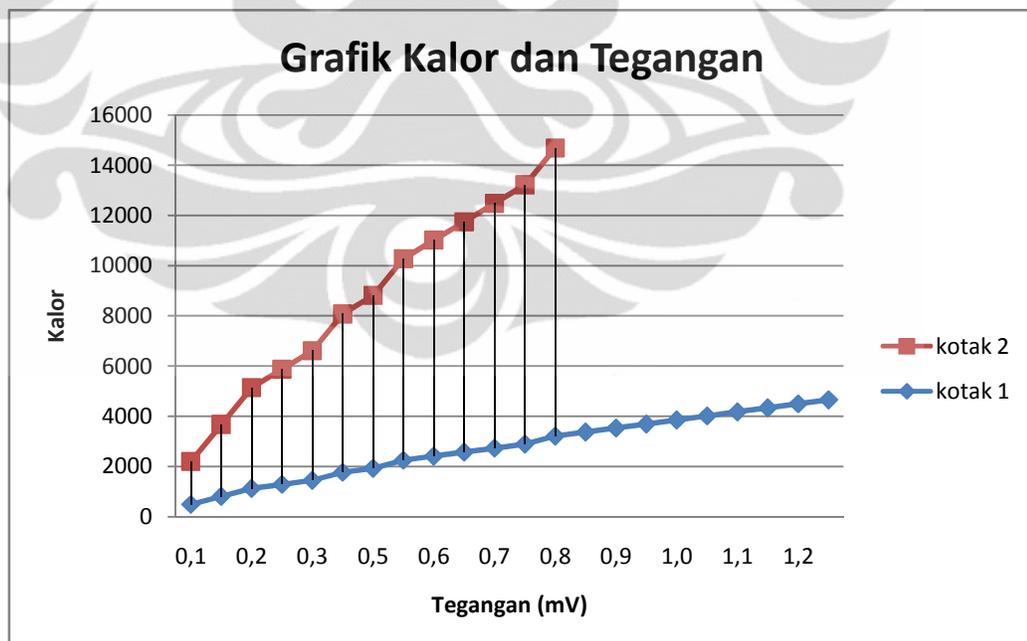
Gambar 4.1 Grafik suhu dan tegangan kotak 1 dan 2 sumber panas matahari

Grafik perbandingan kalor dan Suhu kotak 1 dan 2 sumber panas matahari dapat dilihat pada gambar 4.2



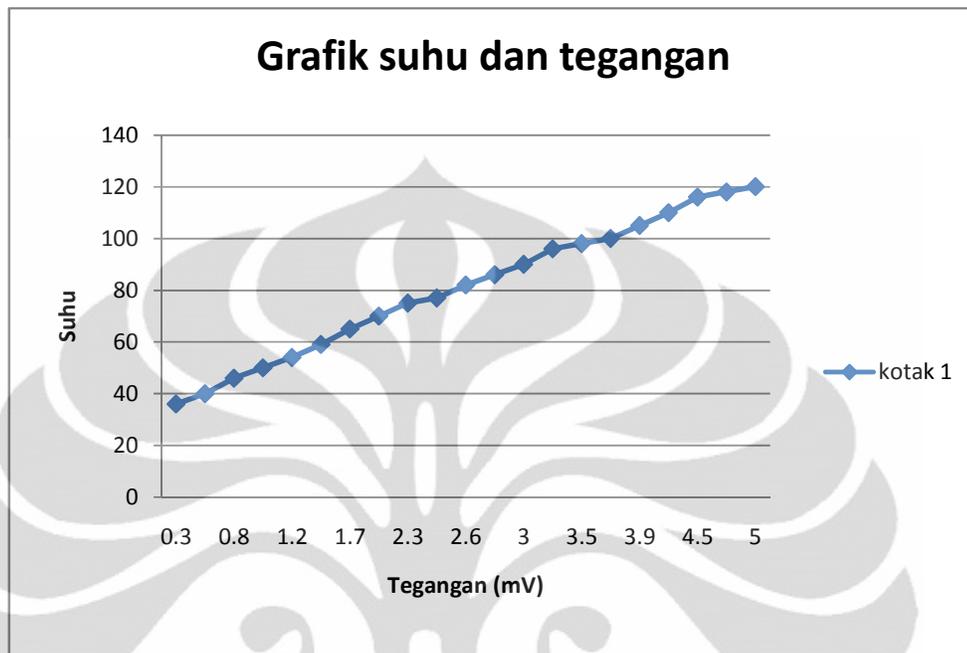
Gambar 4.2 Grafik kalor dan suhu kotak 1 dan 2 sumber panas matahari

Grafik perbandingan Kalor dan Tegangan kotak 1 dan 2 sumber panas matahari dapat dilihat pada Gambar 4.3



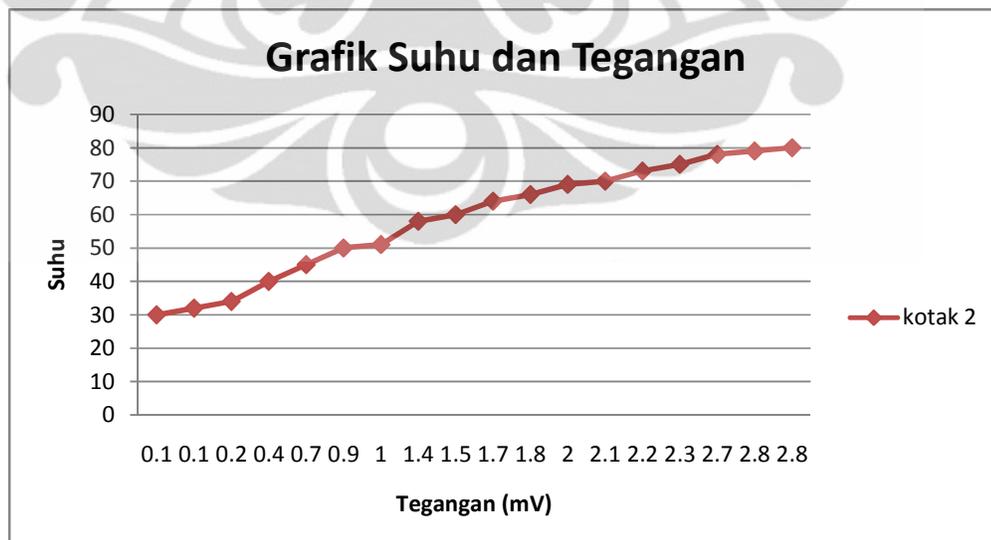
Gambar 4.3 Grafik kalor dan tegangan kotak 1 dan 2 sumber panas matahari

Grafik perbandingan suhu dan tegangan pada kotak 1 sumber panas api kompor dapat dilihat pada Gambar 4.4



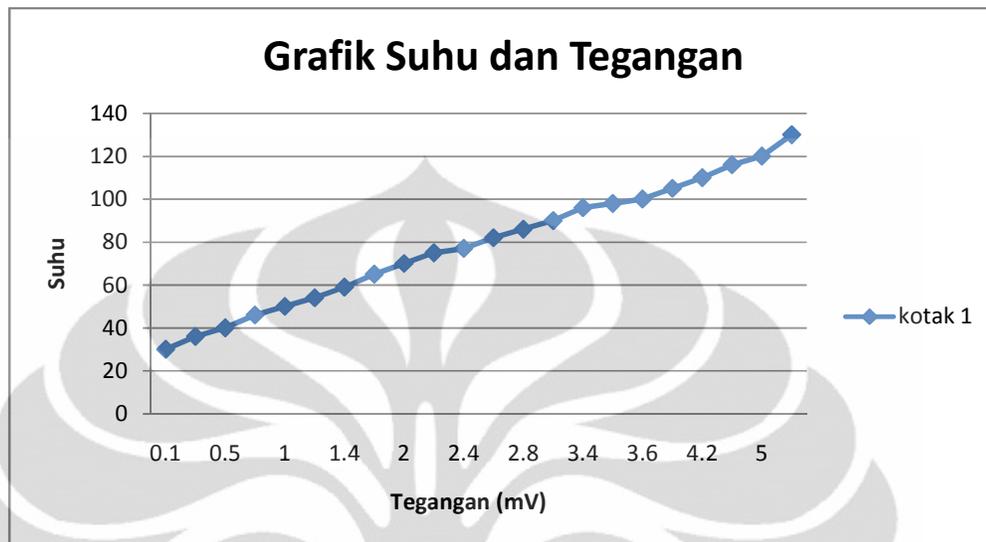
Gambar 4.4 Grafik suhu dan tegangan kotak 1 sumber panas api kompor

Grafik perbandingan suhu dan tegangan pada kotak 2 sumber panas api kompor dapat dilihat pada gambar 4.5



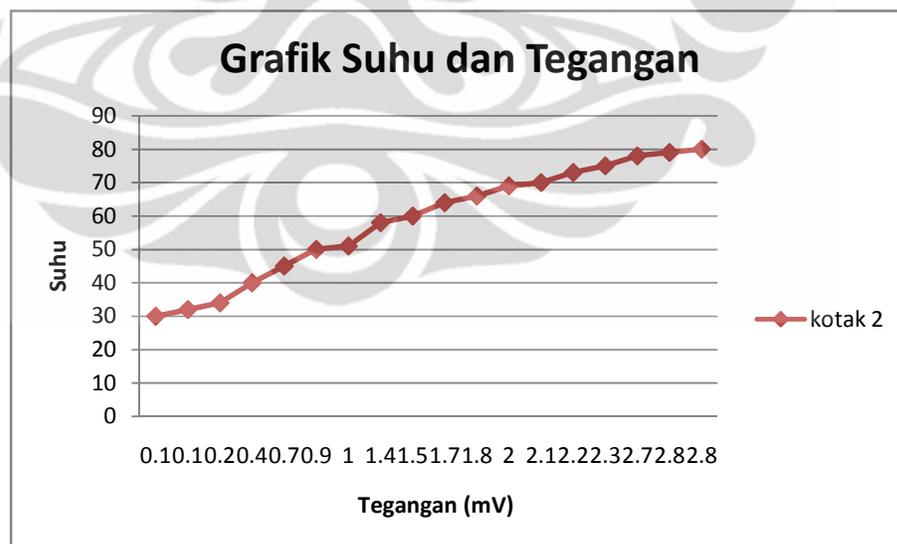
Gambar 4.5 Grafik suhu dan tegangan kotak 2 sumber panas api kompor

Grafik perbandingan suhu dan tegangan pada kotak 1 sumber panas api kompor permukaan kotak kasar pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik suhu dan tegangan kotak 1 sumber panas api kompor permukaan kotak kasar

Grafik perbandingan suhu dan tegangan pada kotak 2 sumber panas api kompor permukaan kotak kasar pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik suhu dan tegangan kotak 2 sumber panas api kompor permukaan kotak kasar

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan data dan analisa dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Volume kotak berpengaruh pada tegangan keluaran termokopel, volume kotak yang lebih kecil menghasilkan tegangan keluaran termokopel lebih besar dibandingkan kotak bervolume besar.
2. Daya yang dihasilkan dengan menggunakan 1 termokopel sebesar  $1.78 \times 10^{-6}$  Watt sedangkan dengan menggunakan 2 termokopel yang dirangkai secara seri daya yang dihasilkan sebesar  $6.13 \times 10^{-6}$  Watt
3. Untuk Mendapatkan daya yang lebih besar dapat dilakukan dengan cara menghubungkan secara seri keluaran dari termokopel tipe K

## DAFTAR PUSTAKA

1. Karim Saeful dan Sunardi Penentuan Elektromotansi Termal Beberapa Jenis Termokopel Dengan Pasangan Logam Yang Bervariasi. Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia. 2003
2. Artono Koestoer Raldi, PENGUKURAN TEKNIK. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Nopember 2004
3. Joko Prasetio W, Kiswanta, Edy Sumarno, Ainur Rosidi, Ismu Handoyo, Khrisna. TEKNIK PERBAIKAN SAMBUNGAN TERMOKOPEL TEMPERATUR TINGGI PADA HEATING-01. Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun Bogor
4. Nandy Putra, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto. Potensi Pembangkit Daya Thermoelektrik untuk Kendaraan hybrid. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok. Nopember 2009
5. <http://id.wikipedia.org/wiki/Termokopel> Diakses pada tanggal 20 maret 2011
6. <http://www.msm.cam.ac.uk/utc/thermocouple/pages/ThermocouplesOperatingPrinciples.html> diakses pada tanggal 1 desember 2011
7. <http://www.ikpm.gontor.ac.id/konten/hubungan-antara-kalor-dengan-energi-listrik> diakses pada tanggal 18 desember 2011