

**PENENTUAN ELEKTROMOTANSI TERMAL
BEBERAPA JENIS TERMOKOPEL
DENGAN PASANGAN LOGAM YANG BERVARIASI**
(Upaya untuk Mendapatkan Pasangan Logam yang Terbaik untuk Termokopel)

Oleh

SAEFUL KARIM and SUNARDI

Jurusan Pendidikan Fisika
FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia

ABSTRACT

An experiment has been done to observe about relation of difference temperature with electromotive force between two metal junctions. This experiment directed to determine the coefficient thermal electromotantion from some termocouples and to find metal junction which most linier. In this experiment used experimental method with some instrument, there is thermometer, galvanometer, and potentiometer (nichrom). Termocouple is used in this experiment bent two metal junction, there is cooper – steel, nichrom-steel, nichrom – cooper, iron-steel, iron-nichrom, and cooper – iron. Extending of temperature is used inthis experiment there is reference temperature ($T_0 = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) and measuring temperature ($30 - 75\text{ }^{\circ}\text{C}$). From this experiment we find some illustrations that the more higher of difference temperature between two metal junction there for the more higher too of electromotive force has producted from two metal junctions (termocouple). For junction cooper iron and iron nichrom has producted non linier relation (relation of electromotive force with difference temperature). But for junction cooper steel, nichrom steel, and iron steel has producted linier relations, junction nichrom cooper have relation most linier with coeficient thermal electromotantion $0,0472\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Coeficient thermal electromotantion will be different depend on metal .

PENDAHULUAN

Pada pada tahun 1822, Seebeck melakukan percobaan dengan menghubungkan plat bismuth diantara kawat-kawat tembaga. Hubungan (sambungan) 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 Sebeck 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 gerak listrik termo dan sumbernya disebut dengan elemen termo (termokopel).

Berdasarkan hal tersebut diatas maka telah dilakukan penelitian yang meneliti pengaruh perbedaan suhu antara dua sambungan logam dengan gaya gerak listrik yang timbul diantara ujung-ujung sambungan, yang akhirnya berujung pada penentuan elektromotansi termal dari beberapa sambungan logam yang berbeda (termokopel).

DASAR TEORI

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 (ggl) dilambangkan dengan ε , maka dapat dinyatakan dengan :

$$\epsilon = dW / dq \dots\dots\dots(2.1)$$

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-energi dari proses-proses tersebut dapat diubah menjadi energi listrik.

Jika suatu titik (A) mempunyai potensial listrik (V_a) dan titik lain (B) memiliki potensial listrik (V_b), maka untuk mencari selisih potensial listrik

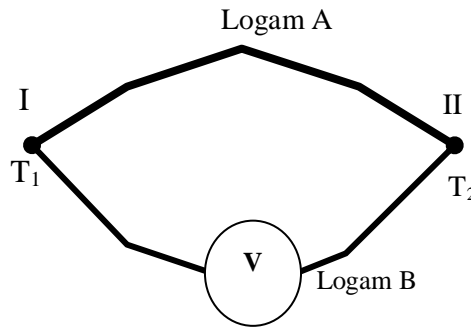
diantara dua titik A dan B di dalam sebuah medan listrik (E), maka kita harus menggerakkan sebuah muatan (q) dari A ke B, dengan mengukur usaha untuk menggerakkan muatan tersebut (W_{ab}), maka selisih potensial dapat dinyatakan dengan :

$$V_{ab} = V_b - V_a = W_{ab} / q \dots\dots\dots (2.2)$$

- Dengan
- V_{ab} = beda potensial antara titik A dan B (volt)
 - V_b = potensial listrik di titik B (volt)
 - V_a = potensial listrik di titik A (volt)
 - W_{ab} = usaha untuk memindahkan muatan dari A ke B (joule)
 - q = muatan yang dipindahkan (coulomb)

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.



Gb.1 : Rangkaian termokopel dengan voltmeter

Misal pada sambungan I diberikan suhu T₁ (dibuat tetap) dan sambungan II diberi suhu T₂ (T₂ > T₁), akibat adanya perbedaan suhu antara kedua sambungan tersebut maka pada voltmeter akan mengalir arus listrik dan terbaca

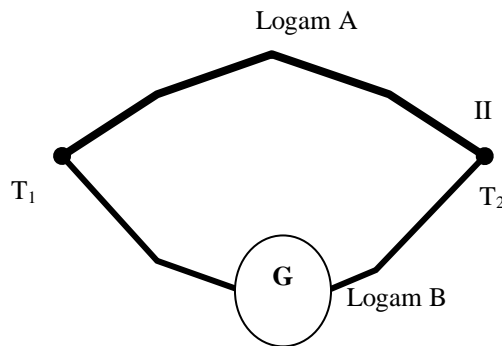
adanya gaya gerak listrik (ggl) yang diindikasikan dengan penyimpangan voltmeter pada rangkaian tersebut. Artinya pada termokopel besaran fisis yang berubah dengan berubahnya sedikit suhu adalah gaya gerak listrik (ε).

Sambungan logam pada termokopel terdiri dari dua sambungan, yaitu :

- Reference Junction (Cold Junction) ,merupakan sambungan acuan yang suhunya dijaga konstan dan biasanya diberi suhu yang dingin ($\approx 0^{\circ}\text{C}$).
- 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 pasangkan 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 .



Gb.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 :

- Jenis bahan logam
- 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 :

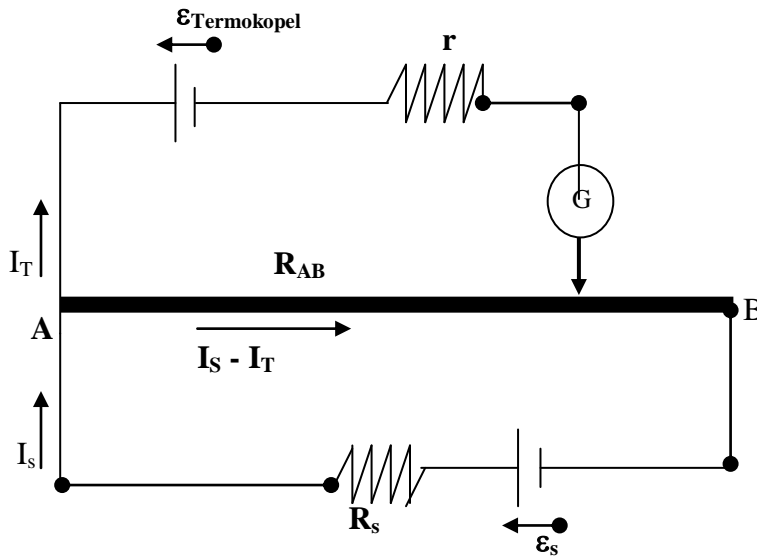
$$\epsilon = \alpha (T_2 - T_1) + \beta (T_2 - T_1)^2 + \gamma (T_2 - T_1)^3 + \dots \quad (2.3)$$

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

$$\epsilon = \alpha (\Delta T) + \beta (\Delta T)^2 + \gamma (\Delta T)^3 + \dots \quad (2.4)$$

α, β, γ = elektromotansi termal (konstanta pembanding), konstanta tersebut bergantung pada jenis bahan yang digunakan.

Gejala peltier adalah gejala penyerapan dan pengeluaran panas pada sambungan-sambungan termokopel apabila ada arus yang mengalir pada rangkaian, gejala ini akan mempengaruhi pengukuran. Karena suhu sambungan pengukur tidak persis sama dengan suhu ukur (suhu sekitar). Gejala peltier ini dapat diatasi dengan menggunakan potensiometer sewaktu mengukur ggl. Karena dengan potensiometer memungkinkan untuk membuat arus pada rangkaian termokopel menjadi nol, artinya gejala peltier dapat diabaikan :



Gb.3 ; Rangkaian termokopel dengan potensiometer

Dengan menggunakan teorema simpal untuk loop abcd maka :

$$- \epsilon_T - I_T r + (I_s - I_T) R = 0 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Diamana ($I_s - I_T$) merupakan arus yang melewati hambatan R (Potensiometer), sehingga :

$$I_T = \frac{I_s R - \varepsilon_T}{R + r} \dots\dots\dots (2.6)$$

Jika arus yang mengalir pada rangkaian adalah nol dengan mengatur potensiometer maka $I_T = 0$, sehingga persamaan 2.6 menjadi :

$$\varepsilon_T = I_s R \dots\dots\dots (2.7)$$

Karena $R = R_{AB}$ = hambatan kawat potensiometer, yaitu $R_{AB} = \rho L_{AB}/A$ maka :

$$\varepsilon_T = I_s \rho L_{AB}/A \dots\dots\dots (2.8)$$

I_s = Kuat arus sumber (A)

R_{AB} = Hambatan potensiometer (Ω)

L_{AB} = Panjang kawat potensiometer (m)

A = Luas penampang kawat potensiometer (m^2)

ρ = hambatan jenis kawat potensiometer (Ωm)

METODE PENELITIAN

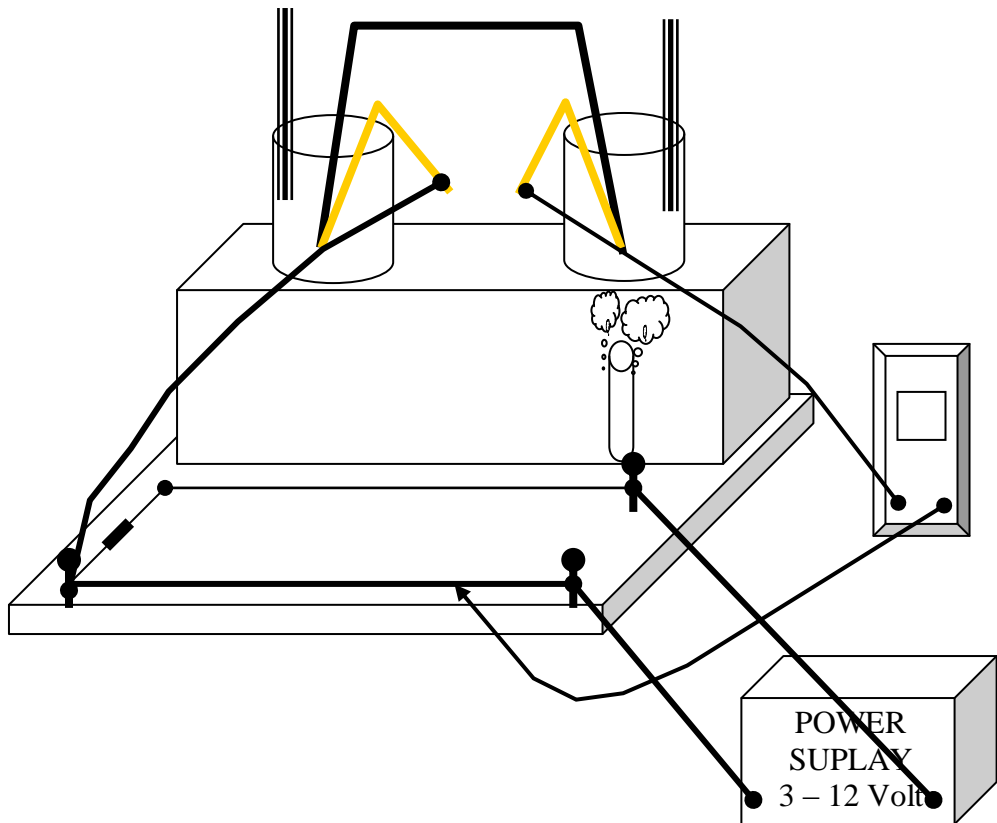
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Terdapat dua tahapan utama dalam penelitian ini, yaitu tahap penentuan hambatan jenis potensiometer (kawat nikhrom) dan tahap penentuan gaya gerak listrik termokopel untuk tiap suhu ukur yang berbeda. Penentuan hambatan jenis kawat potensiometer dilakukan dengan mengukur hambatan kawat (R) untuk panjang tertentu kemudian dicari hambatan jenis rata-rata ($\bar{\rho}$), untuk menentukan hambatan jenis (ρ) digunakan

persamaan $\rho = \frac{R.A}{L}$, dengan A merupakan luas penampang yang dapat

ditentukan bila diameter kawat potensiometer diketahui.

Pada penentuan gaya gerak listrik untuk tiap suhu ukur yang berbeda dilakukan dengan melakukan pemanasan pada sambungan panas kemudian pada suhu tertentu (30 – 75 °C) kemudian mengatur kontak geser pada potensiometer untuk mendapatkan penyimpangan nol pada jarum galvanometer. Pada saat galvanometer menunjuk angka nol pada saat tersebut diukur panjang kawat potensiometer dan suhu yang tertera pada sambungan panas. Setiap saat suhu acuan (sambungan dingin) harus selalu dijaga konstan. Kemudian setelah panjang kawat pada saat galvanometer diperoleh maka gaya gerak listrik termokopel dapat ditentukan dengan persamaan 2.8 , yaitu $\varepsilon_T = I_s \rho L_{AB}/A$. Agar lebih jelasnya perhatikan gambar skema alat yang digunakan berikut :

GAMBAR SKEMATIK ALAT



Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Alat :

- Jangka sorong 1 buah
- Multimeter Digital 1 buah
- Galvanometer 1 buah
- Multimeter Analog 1 buah
- Mistar 0 – 50 cm 1 buah
- Termometer 0-360 °C 1 buah
- Termometer –10 -110 °C 1 buah

- Sumber panas

Bahan :

- Sambungan logam
 - Pasangan logam besi – tembaga
 - Pasangan logam besi – baja
 - Pasangan logam baja – tembaga
 - Pasangan logam baja – nikhrom
 - Pasangan logam nikhrom – tembaga
 - Pasangan logam nikhrom – besi
- Kawat nikhrom 98 cm (potensiometer)
- Es
- Air suling (H₂O)
- Resistor (33,2 k Ω)
- Power Suplay (3 – 12 volt DC)

HASIL PENELITIAN

Pada penelitian ini berdasarkan hasil perhitungan data yang terdiri dari 10 kali pengukuran hambatan untuk setiap panjang yang berbeda diperoleh hambatan jenis potensiometer adalah $\rho = 2,109.10^{-6} \pm 9,024.10^{-8} \Omega m$ dengan ketidakpastian relatif 4,27 %. Dari referensi untuk kawat nikhrom mempunyai hambatan jenis yang tergantung pasaran ($\approx 1.10^{-6} \Omega m$). (*pengukuran – Pengukuran Dasar di Laboratorium Fisika – Drs. Suprpto Andar*).

Pada rentang beda suhu antara 29 oC sampai 74 o C diperoleh harga gaya gerak listrik sebagai berikut :

- Untuk sambungan tembaga baja diperoleh gaya gerak listrik 0,092 – 1,105mV
- Untuk sambungan tembaga besi diperoleh gaya gerak listrik 0,483 – 3,638 mV
- Untuk sambungan nikhrom tembaga diperoleh gaya gerak listrik 0,345 – 2,395 mV
- Untuk sambungan nikhrom baja diperoleh gaya gerak listrik 0,115 – 1,399 mV
- Untuk sambungan besi baja diperoleh gaya gerak listrik 0,069 – 0,944 mV
- Untuk sambungan besi nikhrom diperoleh gaya gerak listrik 0,115 – 1,897 mV

Dari data tersebut kemudian dibuat grafik hubungan gaya gerak listrik dengan beda suhu $\varepsilon = f(\Delta T)$, dari regresi linier dan polinomial di peroleh harga elektromotansi termal sebagai berikut

- Untuk pasangan logam tembaga-baja , $\alpha = 0,0213 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 6,48 %
- Untuk pasangan logam tembaga-besi, $\alpha = 0,10254 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 17,13 % dan $\beta = 0,00164 \text{ mV/}^\circ\text{C}^2$ dengan ketidakpastian relatif 10,32 %
- Untuk pasangan logam nikhrom-tembaga, $\alpha = 0,04742 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 3,18 %
- Untuk pasangan logam nikhrom-baja, $\alpha = 0,02945 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 3,56 %
- Untuk pasangan logam besi-baja, $\alpha = 0,01761 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 5,64 %
- Untuk pasangan logam besi-nikhrom, $\alpha = 0,02042 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 19,83 % dan $\beta = 4,39697 \cdot 10^{-4} \text{ mV/}^\circ\text{C}^2$ dengan ketidakpastian relatif 44,73 %

KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Besar gaya gerak listrik termokopel dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara kedua sambungan , yaitu semakin besar perbedaan suhu antara kedua sambungan maka semakin besar gaya gerak listrik yang dihasilkan.
2. Dari tiap pasangan logam yang berbeda akan didapatkan hubungan antara gaya gerak listrik dengan perbedaan suhu yang berbeda pula, yaitu ditunjukkan oleh grafik $\varepsilon = f(\Delta T)$ yang berbeda dari tiap sambungan logam.
3. Pasangan logam nikhrom–tembaga merupakan termokopel yang memiliki karakteristik paling linier.
4. Diperoleh elektromotansi termal tiap termokopel adalah :
 - Untuk pasangan logam tembaga-baja , $\alpha = 0,0213 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 6,48 %
 - Untuk pasangan logam tembaga-besi, $\alpha = 0,10254 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 17,13 % dan $\beta = 0,00164 \text{ mV/}^\circ\text{C}^2$ dengan ketidakpastian relatif 10,32 %

- Untuk pasangan logam nikhrom-tembaga, $\alpha = 0,04742 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 3,18 %
 - Untuk pasangan logam nikhrom-baja, $\alpha = 0,02945 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 3,56 %
 - Untuk pasangan logam besi-baja, $\alpha = 0,01761 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 5,64 %
 - Untuk pasangan logam besi-nikhrom, $\alpha = 0,02042 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dengan ketidakpastian relatif 19,83 % dan $\beta = 4,39697 \cdot 10^{-4} \text{ mV/}^\circ\text{C}^2$ dengan ketidakpastian relatif 44,73 %
5. Elektromotansi termal termokopel akan berbeda pada tiap-tiap termokopel dan tergantung pada bahan yang digunakan

DAFTAR PUSTAKA

- Zemansky, Mark, W, PhD. Kalor dan Termodinamika. R.H Dittman, terbitan ke 6. Diterjemahkan oleh Suroso. Bandung. ITB. 1986.
- Suprpto, Andar, Drs. Pengukuran-Pengukuran Dasar di Laboratorium Fisika. Depdikbud. PD. Kerta Waskita Grafika. Bandung. 1991.
- Darmawan, B. Termodinamika. jurusan Fisika FMIPA ITB. Bandung. 1990.
- Pengukuran Suhu. PT Dirgantara Indonesia.
- Zemansky, Sears. Fisika Untuk Universitas 3-Optika. Fisika Modern. Bina Cipta. 1987.
- Zemansky, Sears. Fisika Untuk Universitas 1-Mekanika. Panas. Bunyi. Bina Cipta. 1994.
- Halliday, Resnick. Pantur Silaban dan Sucipto, Erwin, Drs. Fisika – jilid 2, Edisi ketiga. Erlangga. 1997.