

RANCANG BANGUN TERMOMETER SUHU TINGGI DENGAN TERMOKOPEL

Oleh:

Yusman Wiyatmo dan Budi Purwanto

Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY

ABSTRAK

Tujuan yang akan dicapai melalui penelitian ini adalah: 1) membuat desain/rancang bangun piranti ukur suhu tinggi dengan termokopel, 2). mencari hubungan antara gradient suhu dengan tegangan termoelektrik pada sambungan tembaga-besi, tembaga alumunium, dan besi-alumunium, dan 3) menentukan jenis sambungan logam manakah di antara tembaga-besi, tembaga alumunium, dan besi-alumunium yang baik digunakan sebagai sensor suhu.

Variabel-variabel penelitian ini adalah: (1) variabel bebas: jenis sambungan termokopel yakni tembaga-besi, tembaga alumunium, dan besi-alumunium, serta temperatur sambungan, (2) variabel terikat pada penelitian ini adalah tegangan termoelektrik yang muncul pada termokopel sebagai respon suhu dan (3) variabel kontrol. Variabel control pada penelitian ini adalah suhu referensi diatur pada suhu kamar, panjang logam, lebar logam, dan jenis zat cair yang digunakan pada sambungan termokopel. Data pada penelitian ini diperoleh dengan cara sebagai berikut: data suhu sambungan referensi, diukur dengan menggunakan thermometer alkohol, data suhu sambungan termokopel diukur dengan thermometer, data tegangan termoelektrik diukur dengan menggunakan voltmeter, dan data koefisien seebeck logam ditentukan dari literatur. Data penelitian ini dianalisis dengan menggunakan analisis regresi linear, yakni: $Y = AX + B$, dengan

Y = tegangan termoelektrik yang muncul pada termokopel, X = gradient suhu sambungan pada termokopel terhadap suhu referensi, A = koefisien Seebeck/kemiringan garis, dan B = konstanta.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: 1) Telah dibuat rancang bangun suhu tinggi dengan termokopel, 2) Hubungan antara gradien suhu dengan tegangan termoelektrik pada termokopel bersifat linear 3) jenis sambungan logam antara tembaga-besi, lebih peka terhadap respon dibandingkan jenis sambungan tembaga-alumunium, dan besi-alumunium untuk sensor suhu.

Kata-kata kunci: termometer suhu tinggi, termokopel, gradien suhu, dan ggl termoelektrik

PENDAHULUAN

Termokopel berasal dari kata “thermo” yang berarti energi panas dan “Couple” yang berarti pertemuan dari dua buah benda. Termokopel adalah transduser aktif suhu yang tersusun dari dua buah logam berbeda dengan titik pembacaan pada pertemuan kedua logam dan titik yang lain sebagai outputnya.

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 antara -200°C sampai 1800°C dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C .

Prinsip kerja termokopel secara sederhana berupa dua buah kabel dari jenis logam yang berbeda ujungnya, hanya 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 temperatur yang sama, logam A memiliki tegangan yang berbeda dengan logam B, terjadilah perbedaan tegangan (kecil sekali, miliVolt) yang dapat dideteksi.

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 tidak dipanaskan. Dengan demikian pada ujung batang yang dipanaskan akan terjadi muatan positif.

Kepadatan electron 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 atau *gem* (*gaya electromagnet*) mengalir dari titik *hot-junction* ke *cold-junction* atau sebaliknya. Setelah terdeteksi perbedaan tegangan (volt). Beda tegangan ini linear dengan perubahan arus, sehingga nilai arus ini bisa dikonversi kedalam bentuk tampilan display. Sebelum dikonversi, nilai arus di komparasi dengan nilai acuan dan nilai offset di bagian komparator, fungsinya untuk menerjemahkan setiap satuan ampere ke dalam satuan volt kemudian dijadikan besaran temperatur yang ditampilkan melalui layar/monitor berupa seven segmen yang menunjukkan temperatur yang dideteksi oleh termokopel.

Sebuah termokopel terdiri dari dua buah kawat yang kedua ujungnya disambung sehingga menghasilkan suatu *open-circuit voltage* sebagai fungsi dari suhu, diketahui sebagai tegangan termolistrik atau disebut dengan *seebeck voltage*, yang ditemukan oleh Thomas Seebeck pada 1921. Hubungan antara tegangan dan pengaruhnya terhadap suhu masing-masing titik pertemuan dua buah kawat adalah linear. Walaupun begitu, untuk perubahan suhu yang sangat kecil, tegangan pun akan terpengaruh secara linear, atau dirumuskan sebagai berikut : (*National Instrument , Application Note 043*)

$$\Delta V = S\Delta T$$

dengan ΔV adalah perubahan tegangan, S adalah koefisien seebeck, dan ΔT adalah perubahan suhu. Nilai S akan berubah dengan perubahan suhu, yang berdampak pada nilai keluaran berupa tegangan termokopel tersebut, dan nilai S akan bersifat non-linear di atas rentang tegangan dari termokopel tersebut.

Berdasarkan kajian tersebut termokopel dapat dimanfaatkan untuk pengukuran suhu, khususnya sebagai sensor suhu tinggi. Termometer dengan bahan isian alkohol dan raksa memiliki keterbatasan pada jangkauan ukur 150 °C, sehingga tidak dapat digunakan untuk pengukuran suhu tinggi seperti minyak yang mendidih, logam yang mencair, bara api dan sebagainya.

Sebagai sensor suhu, termokopel memiliki keterbatasan antara lain tidak dapat memberikan sifat linearitas dan keakuratan yang baik pada interval suhu yang sempit.. Selain itu termokopel kurang peka untuk suhu rendah.

Selain itu termokopel juga memiliki keunggulan sebagai berikut: 1) Range pengukuran suhu yang tinggi. Range ini pada umumnya yang diperlukan untuk *furnace*, *oven*, mesin pengering, *boiler*, dan sebagainya dimana suhu bisa mencapai 600°C atau bahkan lebih. Bandingkan dengan LM35 yang maksimal hanya pada suhu 100°C walaupun harganya bisa dikatakan relatif sama, 2) Murah, coba bandingkan harga termokopel yang dibawah Rp. 30.000,- dengan tipe RTD seperti PT100 atau PT1000 yang bisa lebih dari Rp. 250.000,-, 3) Linearitas dan keakuratan tidak terlalu penting, misalkan tidak masalah jika suhu yang diminta 200°C

tetapi terukur 198 °C atau 220 °C, dan 4) Tidak untuk *range* temperatur yang terlalu dekat dengan suhu ruang, misalkan minta suhu 38 derajat dari kondisi suhu ruang yang 28 derajat.

Selanjutnya termokopel ini menarik untuk diteliti karena belum diketahui jenis sambungan logam apakah yang mampu digunakan sebagai sensor suhu tinggi. Dan juga belum diketahui pula pada rentang suhu berapakah tegangan termoelektrik memberikan respon linear terhadap perubahan suhu. Hal yang menarik lainnya adalah gejala fisis apa sajakah yang tampak pada termokopel terkait dengan sifat termoelektrik linear atau kuadratis? Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini menarik untuk dilakukan.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diungkap di depan, maka permasalahan-permasalahan pada penelitian ini dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Belum diketahui karakteristik jenis sambungan termokopel yang cocok digunakan sebagai sensor suhu tinggi.
2. Belum diketahui pada rentang suhu berapakah hubungan antara gradient suhu dengan tegangan termoelektrik bersifat linear.
3. Belum diketahui pada rentang suhu berapakah hubungan antara gradient suhu dengan tegangan bersifat kuadratis.
4. Perlu dilakukan rancang bangun alat ukur suhu tinggi dengan memanfaatkan gejala termoelektrik.
5. Perlu diteliti bahan-bahan logam apakah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan termokopel yang tahan terhadap suhu tinggi.
6. Bagaimanakah proses kalibrasi alat ukur suhu tinggi dengan termokopel agar dihasilkan alat ukur yang valid.

Permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini dibatasi pada: 1) sambungan logam yang diteliti dibatasi pada sambungan tembaga-besi, tembaga aluminium, dan besi-aluminium, 2) Karakteristik gejala termoelektrik yang diteliti dibatasi pada efek Seebeck, efek Peltier, dan efek Thompson dan 3) Rancang bangun piranti ukur suhu tinggi dibatasi pada pembuatan desain alat, kalibrasi dan ujicoba pengukuran suhu tinggi.

Permasalahan yang akan diteliti pada penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah desain/rancang bangun piranti ukur suhu tinggi dengan termokopel?
2. Bagaimanakah hubungan antara gradient suhu dengan tegangan termoelektrik pada sambungan tembaga-besi, tembaga alumunium, dan besi-alumunium?
3. Jenis sambungan logam manakah di antara tembaga-besi, tembaga alumunium, dan besi-alumunium yang baik digunakan sebagai sensor suhu?

METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

Variabel-variabel penelitian ini dapat dideskripsikan sebagai berikut:

1. Variabel bebas: jenis sambungan termokopel yakni tembaga-besi, tembaga alumunium, dan besi-alumunium. Variabel bebas lainnya adalah temperatur sambungan. Hal ini dilakukan dengan memvariasi suhu sambungan yang ditempatkan dalam bejana yang diisi cairan.
2. Variabel terikat. Variabel terikat pada penelitian ini adalah tegangan termoelektrik yang muncul pada termokopel sebagai respon suhu.
3. Variabel kontrol. Variabel control pada penelitian ini adalah suhu referensi diatur pada suhu kamar, panjang logam, lebar logam, dan jenis zat cair yang digunakan pada sambungan termokopel.

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Plat besi ukuran 20 x 10 cm digunakan sebagai bahan termokopel
2. Plat alumunium ukuran 20 x 10 cm digunakan sebagai bahan termokopel
3. Plat tembaga ukuran 20 x 10 cm digunakan sebagai bahan termokopel
4. Minyak goreng 2 liter sebagai media pemanas termokopel

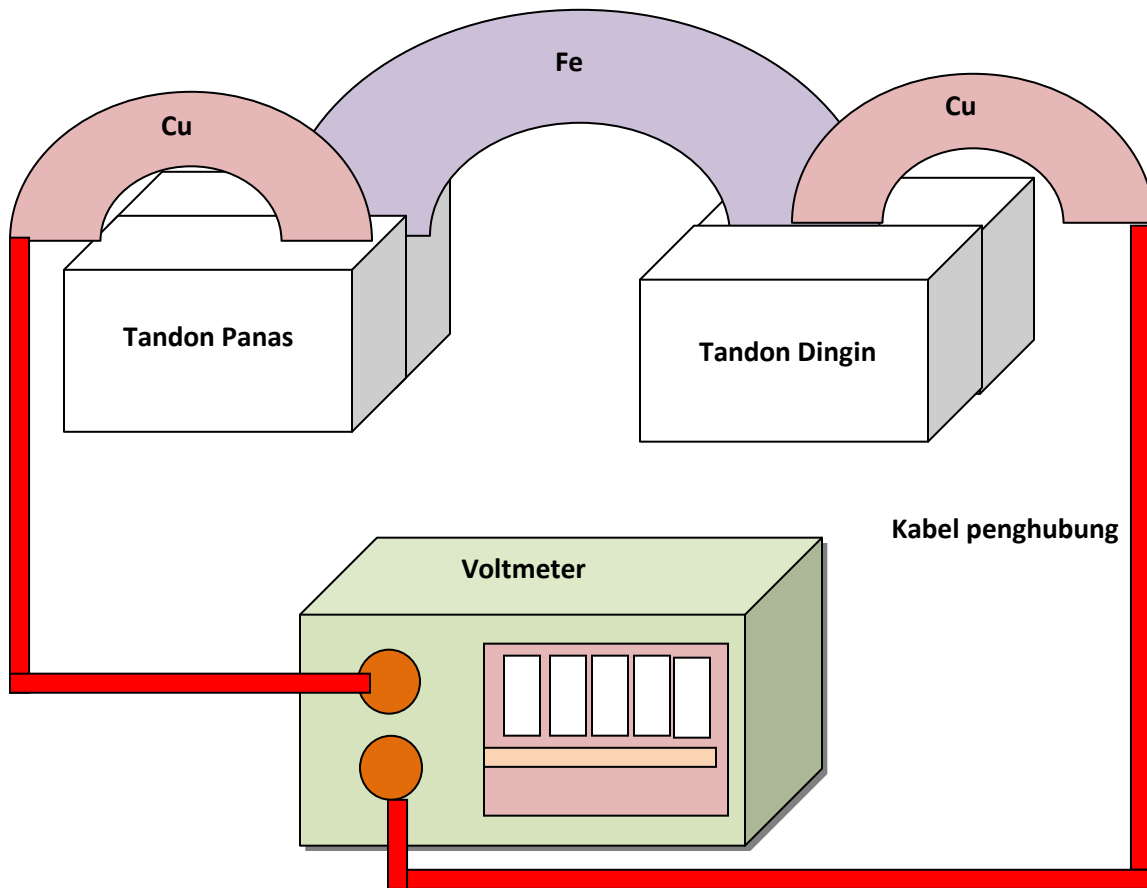
Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Solder dan patri digunakan untuk membuat sambungan termokopel
2. Gunting digunakan untuk memotong logam sesuai dengan ukuran termokopel
3. Bejana aluminium ukuran 20 x 10 x 5 cm sebagai tempat cairan

4. Heater digunakan untuk memanaskan cairan dalam bejana
5. Termometer digunakan untuk mengukur suhu referensi dan suhu sambungan termokopel
6. Voltmeter dengan ketelitian mikro volt digunakan untuk mengukur tegangan termoelektrik

Desain Penelitian

Desain penelitian ini adalah penelitian eksperimen dengan membuat rancang bangun piranti ukur suhu tinggi dengan memanfaatkan termokopel. Adapun desain alat secara singkat disajikan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Desain Piranti Ukur Suhu Tinggi dengan Termokopel

Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini secara singkat dapat dideskripsikan sebagai berikut:

1. Mengkaji secara teoritis sifat-sifat dan karakteristik logam tembaga, besi, dan aluminium ditinjau dari sisi termodinamika dan kelistrikan.
2. Membuat rancang bangun piranti ukur suhu tinggi dengan memanfaatkan gejala termoelektrik pada termokopel.
3. Membuat alat ukur suhu tinggi dengan bahan-bahan yang sudah disiapkan sesuai dengan desain yang telah dibuat.
4. Mengkalibrasi alat dengan titik acuan suhu es mencair dan suhu air mendidih.
5. Melakukan uji coba pengukuran suhu minyak.
6. Memperbaiki desain alat berdasarkan temuan pada hasil uji coba.

Teknik Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini diperoleh dengan cara sebagai berikut:

1. Data suhu sambungan referensi, diukur dengan menggunakan thermometer alkohol.
2. Data suhu sambungan termokopel diukur dengan thermometer
3. Data tegangan termoelektrik diukur dengan menggunakan voltmeter
4. Data koefisien seebeck logam ditentukan dari literature

Teknik Analisis Data

Data penelitian ini dianalisis dengan menggunakan analisis regresi linear, yakni:

$$Y = AX + B$$

dengan Y = tegangan termoelektrik yang muncul pada termokopel

X = gradient suhu sambungan pada termokopel terhadap suhu referensi

A = koefisien Seebeck/kemiringan garis

B = konstanta, yakni

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada penelitian ini digunakan tiga jenis sambungan termokopel yakni tembaga-besi, tembaga-alumunium, dan besi-alumunium. Untuk mendapatkan gradien suhu yang tinggi maka pada penelitian ini digunakan suhu referensi 0 °C yakni suhu es saat es mencair. Variasi suhu junction dilakukan dengan cara memanaskan junction pada tendon panas menggunakan heater. Suhu divariasi setiap kenaikan 10 °C sampai dengan suhu 100 °C. Adapun data penelitian untuk termokopel sambungan tembaga besi disajikan pada Tabel 1 sbb:

Tabel 1. Data Tegangan Termoelektrik Untuk Sambungan Tembaga-Besi

No	Suhu Junction (°C)	Tegangan Termoelektrik (mV)
1	10	50,2
2	20	72,4
3	30	102,5
4	40	130,2
5	50	154,3
6	60	180,6
7	70	204,1
8	80	224,8
9	90	254,7
10	100	280,4

Selanjutnya pengukuran tegangan termoelektrik pada termokopel tembaga alumunium dilakukan dengan volmeter digital. Suhu junction juga divariasi setiap 10 °C. Secara singkat data tegangan termoelektrik untuk sambungan tembaga alumunium disajikan pada Tabel 2 sbb:

Tabel 2. Data Tegangan Termoelektrik Untuk Sambungan Tembaga-Alumunium

No	Suhu Junction (°C)	Tegangan Termoelektrik (mV)
1	10	30,3
2	20	52,4
3	30	80,6
4	40	112,2
5	50	134,2
6	60	162,4

7	70	185,2
8	80	202,8
9	90	233,7
10	100	264,3

Selanjutnya pengukuran tegangan termoelektrik pada termokopel besi-aluminium dilakukan dengan voltmeter digital. Suhu junction juga divariasikan setiap 10 °C. Secara singkat data tegangan termoelektrik untuk sambungan besi-aluminium disajikan pada Tabel 3 sbb:

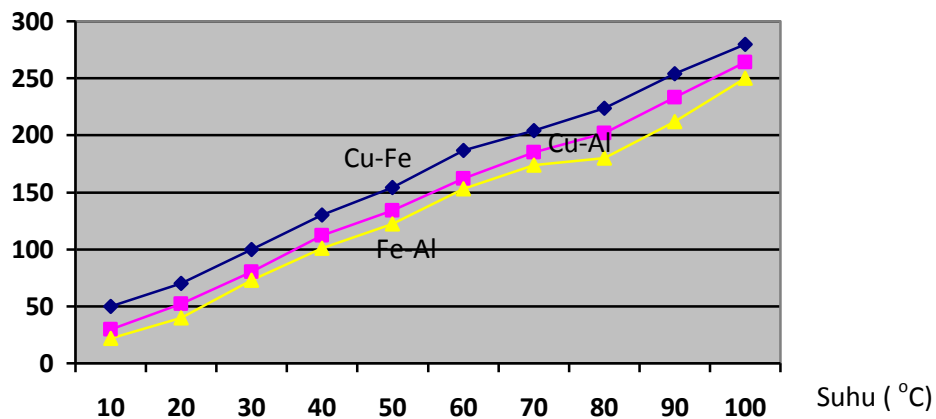
Tabel 3. Data Tegangan Termoelektrik Untuk Sambungan Besi-Aluminium

No	Suhu Junction (°C)	Tegangan Termoelektrik (mV)
1	10	22,3
2	20	40,4
3	30	72,6
4	40	101,4
5	50	122,2
6	60	153,5
7	70	174,4
8	80	180,5
9	90	212,7
10	100	250,2

Pembahasan

Pada penelitian ini diperoleh data tegangan termoelektrik sebagai fungsi suhu. Selanjutnya data hubungan antara tegangan termoelektrik dengan suhu untuk ketiga jenis termokopel dianalisis dengan grafik seperti disajikan pada Gambar 2 sbb

Tegangan (mV)



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Tegangan Termoelektrik dengan Suhu

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 tampak bahwa hubungan antara tegangan termoelektrik dengan suhu untuk ketiga jenis sambungan Cu-Fe, Cu-Al, dan Fe-Al adalah linear. Jenis sambungan Cu-Fe memiliki tegangan termoelektrik yang paling tinggi dibandingkan sambungan Cu-Al dan Fe-Al. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan termokopel Cu-Fe memiliki respon suhu yang baik (peka terhadap perubahan suhu). Jenis sambungan Cu-Fe bila digunakan sebagai sensor suhu lebih baik dibandingkan sambungan Cu-Al dan Fe-Al.

Adapun sambungan Cu-Al memiliki respon suhu menengah, yakni lebih baik dibandingkan dengan sambungan Fe-Al, tetapi kalah peka terhadap suhu dibandingkan sambungan Cu-Fe. Namun demikian jenis sambungan Cu-Al juga memiliki hubungan antara tegangan termoelektrik dan suhu junction linear. Hal ini berarti bahwa sambungan Cu-Al dapat dimanfaatkan sebagai sensor suhu.

Selanjutnya sambungan Fe-Al memiliki tingkat kepekaan terhadap suhu paling rendah dibandingkan sambungan Cu-Fe, dan Cu-Al. Hubungan antara tegangan termoelektrik dengan suhu pada sambungan ini juga linear. Hal ini berarti bahwa jenis sambungan Fe-Al juga dapat dimanfaatkan sebagai sensor suhu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Desain/rancang bangun piranti ukur suhu tinggi dengan termokopel terdiri dari junction dua logam yang berbeda jenis sebagai sensor suhu
2. Hubungan antara gradien suhu dengan tegangan termoelektrik pada sambungan tembaga-besi, tembaga alumunium, dan besi-alumunium bersifat linear.
3. Jenis sambungan logam tembaga-besi lebih peka sebagai sensor suhu dibandingkan jenis sambungan tembaga alumunium, dan besi-alumunium.

Saran-Saran

Beberapa saran yang dapat dikemukakan dari hasil penelitian ini adalah sbb:

1. Suhu junction dapat divariasikan pada suhu yang lebih tinggi dengan memanfaatkan suhu cairan yang memiliki titik didih tinggi.
2. Jenis sambungan termokopel dapat divariasikan untuk jenis sambungan yang lain sehingga dapat diperoleh jenis sambungan yang paling murah, efisien, dan baik digunakan sebagai sensor suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminanto. 2012. *Prinsip Kerja Termokopel*. Alamat Web: <http://echo-corner.blogspot.com/2012/03/termokopel-dalam-dunia-elektronika.html>.
- Cooper W.D., 1985, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Jakarta : Erlangga.
- Duckworth. 2012. *Electricity and Magnetism. Peltier Effect, Seebeck Effect, and Thompson Effect*. Prentice Hall Ltd.
- Samadikun, S, dkk. 1988. *Sistem Instrumentasi Elektronika*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.