

PENENTUAN KONDUKTIVITAS TERMAL LOGAM MENGGUNAKAN KIT PERCOBAAN BERBASIS MIKROKONTROLER

Elmeiana Suhendra Dharmajati¹⁾, Endah Rahmawati²⁾

¹⁾Mahasiswa Prodi S1-Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email : elmeianadharmajati@mhs.ac.id

²⁾Dosen Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email : endahrahmawati@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji kit percobaan untuk menentukan konduktivitas termal logam berbasis mikrokontroler. Kit percobaan ini terdiri dari sistem pemanas berupa peltier, sistem pengukur suhu berupa sensor suhu LM35, sistem pemrosesan data berupa Arduino Uno 328p, holder, dan bahan uji berupa logam aluminium, baja, stainless steel, dan tembaga. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengambilan data suhu dan penentuan nilai konduktivitas termal. Pada tahap pengambilan data suhu, diperoleh nilai perbedaan suhu (ΔT) antara sensor terdekat dengan pemanas (T1) dan sensor terjauh (T2). Tahap penentuan nilai konduktivitas dilakukan melalui perhitungan menggunakan data pengukuran, diperoleh nilai konduktivitas untuk logam aluminium, logam aluminium, baja, stainless steel, dan tembaga masing-masing adalah 258,41 J/s.m. $^{\circ}$ C; 736,62 J/s.m. $^{\circ}$ C; 93,50 J/s.m. $^{\circ}$ C; 509,55 J/s.m. $^{\circ}$ C. Jika dibandingkan dengan referensi (Cengel, Y.A., 2010) kesalahan yang diperoleh sebesar 9%; 1403%; 519%; 27%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa alat masih menunjukkan nilai error yang besar dikarenakan beberapa sebab, sehingga diperlukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut agar diperoleh hasil yang sesuai dengan referensi atau teori.

Kata Kunci:konduktivitas termal, logam uji, mikrokontroler

Abstract

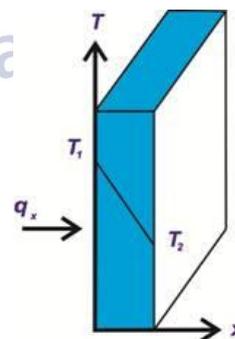
The research aims to design and test experimental kit to determine the thermal conductivity of metals based on microcontroller. This experimental kit consists of a peltier as heating system, temperature sensor LM35 as temperature measuring system, Arduino Uno 328p as data processing system, holder, and specified materials such as aluminum, steel, stainless steel and copper. This research used two steps, namely taking temperature data and determining the value of thermal conductivity. By taking temperature data using LM35, the temperature difference (ΔT) between closest sensor (T1) and furthest sensor (T2) are obtained. The results showed the value thermal conductivity of alluminium is 258,41 J/s.m. $^{\circ}$ C, steel is 736,62 J/s.m. $^{\circ}$ C, stainless steel is 93,50 J/s.m. $^{\circ}$ C, and copper is 509,55 J/s.m. $^{\circ}$ C. Based on reference (Cengel, Y.A., 2010) an error gained is 9%; 1403%; 519%; 27%. The results showed that the thermal conductivity kit needs further improvement so the result will appropriate and produce good measurement result consider to reference or theory.

Keywords: thermal conductivity, metals testing, microcontroller

PENDAHULUAN

Kalor adalah salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari satu titik ke titik lainnya karena adanya perbedaan suhu. Aliran kalor terjadi dari titik yang bersuhu tinggi ke titik yang bersuhu lebih rendah. Perpindahan kalor dari satu zat ke zat lain diikuti dengan penyerapan dan pelepasan kalor. Kalor dinyatakan dalam gaya kali suatu jarak yaitu Newtonmeter atau Joule. Terdapat 3 mekanisme perpindahan energi kalor, yaitu: (1) Konduksi; (2) Konveksi; (3) Radiasi.

Konduksi adalah perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa diikuti perpindahan molekulnya. Arah aliran energi kalor adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Berdasarkan penampang dan cara perambatannya terdapat beberapa kasus untuk perpindahan kalor secara konduksi.



Gambar 1. Dinding konduksi satu dimensi (sumber: Holman, J.P. 1994)

Konduksi pada dinding satu dimensi yang memiliki distribusi temperatur T , maka memiliki persamaan hukum Fourier yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\frac{Q}{\Delta t} = k \frac{A\Delta T}{l} \quad (1)$$

di mana $Q/\Delta t$ adalah energi kalor yang mengalir per satuan waktu, k adalah konduktivitas termal bahan, A adalah luasan benda yang dialir kalor, dan ΔT adalah perbedaan suhu di antara dua titik berjarak l .

Dalam proses konduksi terdapat laju hantaran kalor yang menyatakan kecepatan energi kalor yang dihantarkan dalam suatu bahan. Besaran-besaran yang mempengaruhi dalam laju hantaran kalor antara lain luas permukaan benda, panjang atau tebal benda, perbedaan suhu antar ujung benda dan juga dipengaruhi oleh konduktivitas termal (Holman, 1994).

Untuk mengukur suhu pada bahan digunakan alat ukur suhu yang akurat dan presisi. Selama ini alat ukur suhu yang kita ketahui adalah termometer. Alat ukur ini memiliki kelemahan, yaitu tidak praktis dan kurang presisi karena responnya lambat. Selain itu ada alat ukur lain yaitu termokopel, namun memiliki kelemahan yaitu harganya tidak terjangkau.

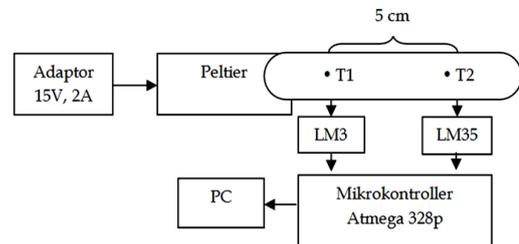
Beberapa penelitian dengan tujuan menentukan laju konduksi pada zat padat telah dilakukan oleh Rokhimi dan Pujayanto (2015), sedangkan penelitian untuk menentukan nilai konduktivitas telah dilakukan oleh Moh. Wirantana (2013). Dalam penelitian tersebut menggunakan metode memanaskan logam dengan menggunakan air mendidih pada salah satu ujung logam. Suhu logam dibaca oleh termometer.

Beberapa produsen alat praktikum yaitu PASCO, Leybold, serta Phywe juga telah memproduksi kit laju konduksi dan telah banyak digunakan di tingkat sekolah maupun universitas. Namun alat tersebut tergolong mahal dan beberapa di antaranya menampilkan data analog yang sulit dalam pembacaannya.

Mengacu pada kit produksi PASCO dan penelitian sebelumnya, kit percobaan konduktivitas termal logam ini memiliki kelebihan yaitu dibuat menggunakan komponen yang lebih ekonomis dan banyak tersedia di pasaran, sehingga memungkinkan untuk diproduksi secara massal. Penggunaan kit ini juga mudah dan praktis, sehingga memudahkan siswa maupun mahasiswa dalam penelitian konduktivitas termal. Oleh karena itu, kit percobaan konduktivitas termal logam ini diharapkan dapat memenuhi alat praktikum di sekolah maupun universitas untuk meningkatkan kompetensi siswa maupun mahasiswa dalam memahami dan menguasai materi konduktivitas termal.

METODE

Rancangan kit percobaan untuk menentukan konduktivitas, laju pulsa kalor, dan laju konduksi logam dengan cara mengukur perbedaan suhu di dua titik berjarak tertentu pada suatu logam yang sedang dipanaskan pada salah satu ujungnya. Kit percobaan ini terdiri dari sistem pemanas, sistem pengukur suhu, *holder*, dan bahan uji.

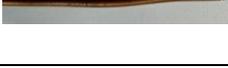


Gambar 1. Rancangan penelitian konduktivitas termal logam

Sistem pemanas yang digunakan pada penelitian ini berupa peltier. Peltier adalah termoelektrik generator, yang merubah energi listrik menjadi energi termal yang mengakibatkan perbedaan suhu pada kedua sisi (panas di salah satu sisi dan dingin di sisi lainnya). Penelitian ini menggunakan sisi panas peltier dengan cara menghubungkan peltier dengan tegangan 4,5 volt selama 90 detik sehingga menghasilkan energi kalor yang digunakan untuk memanaskan bahan uji.

Bahan uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari logam aluminium, baja, stainless steel, dan tembaga.

Tabel 1. Dimensi dan nilai konduktivitas termal bahan uji

| Bahan | Dimensi | k (J/s.m.°C) |
|---|------------------------------------|-----------------|
| Aluminium  | $A = 3,32 \times 10^{-5}$ m^2 | 237 |
| Baja  | $A = 9,6 \times 10^{-6}$ m^2 | 49 |
| Stainless Steel  | $A = 7,8 \times 10^{-5}$ m^2 | 15,1 |
| Tembaga  | $A = 2,0 \times 10^{-5}$ m^2 | 401 |

Sistem pengukuran suhu yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dua buah sensor LM35. Kedua sensor diletakkan pada *holder* benda uji yang dapat diubah jaraknya dengan cara digeser. Data pembacaan suhu oleh sensor kemudian dikirim menuju komponen pemrosesan data yaitu Arduino Uno 328p, sehingga data perbedaan

suhu dapat ditampilkan pada PC melalui aplikasi PLX-DAQ.

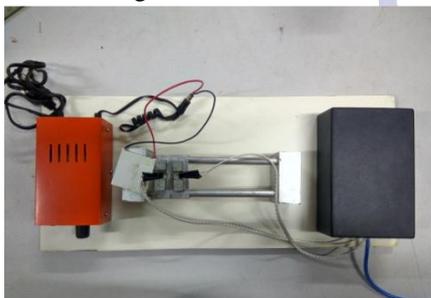
Penentuan nilai konduktivitas termal dilakukan dengan mengukur perbedaan suhu pada dua titik pada logam yang sedang dipanaskan salah satu ujungnya. Perbedaan suhu (ΔT) pada T1 (titik yang dekat dengan pemanas) dan T2 (titik yang jauh dengan pemanas) yang berjarak l digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas termal dengan persamaan (1). Dengan mengasumsikan energi listrik pada peltier sepenuhnya diubah menjadi energi kalor untuk pemanasan bahan uji, maka persamaan tersebut menjadi $k = \frac{V.I.t.l}{A.\Delta T.\Delta t}$.

Dengan V dan I adalah tegangan dan arus dari adaptor yang disambungkan pada peltier, t adalah waktu pemanasan peltier untuk mencapai suhu stabil (*quasi-steady*), l adalah jarak penempatan sensor suhu LM35, A adalah luas penampang masing-masing benda uji, ΔT adalah perbedaan suhu antara dua titik sensor (T1 dan T2), dan Δt adalah waktu terjadinya aliran kalor dari mulai pemanasan.

Pada penelitian ini terdapat tiga variabel operasional penelitian, yaitu variabel kontrol, variabel manipulasi, dan variabel respon. Variabel kontrol adalah besaran yang tidak berubah atau sengaja dikontrol agar bernilai tetap, dalam penelitian ini adalah tegangan pada peltier yaitu 4,5 V, arus yang mengalir pada peltier yaitu 1A, waktu pemanasan (t) yaitu 90 detik, dan luas logam (A). Variabel manipulasi adalah besaran yang nilainya berubah sehingga dapat mempengaruhi hasil, dalam penelitian ini adalah jenis logam (aluminium, baja, stainless steel dan tembaga) dan jarak pengukuran suhu (l) yaitu 2 cm dan 3 cm. Variabel respon adalah data hasil penelitian, dalam penelitian ini adalah suhu T1 dan T2.

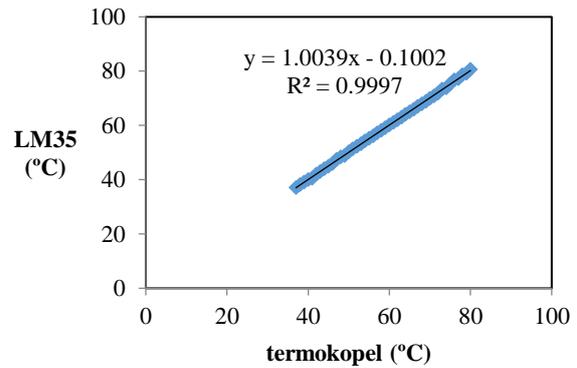
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancangan kit percobaan penentuan laju konduksi adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Kit percobaan penentuan laju konduksi

Untuk menguji kelayakan kit, dilakukan kalibrasi sensor suhu LM35 dibandingkan dengan termokopel. Cara yang digunakan adalah meletakkan kedua buah sensor pada titik yang sama.

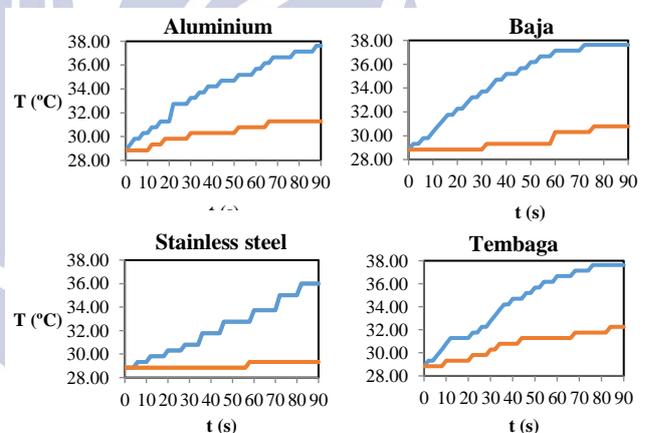


Gambar 2. Perbandingan hasil pengukuran LM35 dan termokopel

Perbandingan suhu menunjukkan hasil yang tidak signifikan dengan kesalahan sebesar 0,01%. Hal ini berarti bahwa kit layak digunakan untuk mengukur suhu benda uji pada penelitian ini.

Pengukuran suhu dekat pemanas T1 dan suhu jauh (T2)

Gambar 3. Grafik suhu T1 dan T2 masing-masing logam



Dari grafik terlihat bahwa nilai perbedaan suhu T1 dan T2 (ΔT) pada masing-masing jenis bahan uji berbeda. Tabel 1 menunjukkan nilai konduktivitas termal masing-masing bahan uji pada pemanasan selama 90 detik dengan mengasumsikan bahwa mulai detik ke-70 sistem mengalami keadaan *quasi-steady*, sehingga pengambilan data konduktivitas dimulai pada detik ke-70 hingga detik ke-90.

Tabel 1. Nilai konduktivitas termal masing-masing bahan uji

| Bahan uji | ΔT (°C) | k (J/s.m.°C) | \bar{k} (J/s.m.°C) | k referensi (J/s.m.°C) | error (%) |
|-----------------|-----------------|--------------|----------------------|------------------------|-----------|
| Aluminium | 7 | 258,41 | 258,41 | 237,00 | 9 |
| | 7 | 258,41 | | | |
| | 7 | 258,41 | | | |
| | 7 | 258,41 | | | |
| Baja | 8 | 779,95 | 736,62 | 49,00 | 1403 |
| | 8 | 779,95 | | | |
| | 8 | 693,29 | | | |
| | 8 | 693,29 | | | |
| Stainless steel | 7 | 92,09 | 93,50 | 15,10 | 519 |
| | 7 | 92,09 | | | |
| | 7 | 92,09 | | | |
| | 7 | 97,74 | | | |
| Tembaga | 6 | 509,55 | 509,55 | 401,00 | 27 |
| | 6 | 509,55 | | | |
| | 6 | 509,55 | | | |
| | 6 | 509,55 | | | |

Dari tabel 1 diperoleh nilai *error* yang besar, hal ini disebabkan alat masih memiliki kekurangan, yaitu belum ada sistem isolasi untuk peltier dan bahan uji, sehingga kalor terbuang ke lingkungan. Pemilihan bentuk bahan uji juga mempengaruhi hasil pengukuran, bentuk bahan silinder mengakibatkan distribusi kalor terjadi secara radial berpusat pada pusat silinder, sehingga sulit dalam peletakan sensor LM35. Selain itu, peltier memiliki efek peltier, sehingga mengalami keterbatasan pemanasan. Nilai *error* terbesar terjadi pada logam baja dan stainless steel, karena keduanya memiliki nilai konduktivitas yang sangat kecil, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai keadaan *quasi-steady*.

Penentuan Laju Pulsa dan Laju Konduksi Kalor Logam

Laju pulsa adalah jarak antara dua sensor T1 dan T2 dibagi dengan waktu yang diperlukan T2 untuk mencapai suhu yang sama dengan T1 pada saat awal pemanasan. Sedangkan laju konduksi kalor adalah energi yang diperlukan oleh suatu bahan untuk menaikkan atau menurunkan suhu sebesar ΔT pada rentang waktu tertentu.

Tabel 2. Nilai laju pulsa dan laju konduksi kalor

| Bahan uji | Laju pulsa (mm/s) | Laju pulsa rata-rata (mm/s) | Laju konduksi kalor (J/s) | Laju konduksi kalor rata-rata (J/s) |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Aluminium | 1,43 | 1,15 | 1,92 | 2,03 |
| | 0,91 | | 2,08 | |
| | 1,00 | | 2,03 | |
| | 1,25 | | 2,09 | |
| Baja | 0,25 | 0,25 | 0,16 | 0,16 |
| | 0,25 | | 0,16 | |
| | 0,24 | | 0,16 | |
| | 0,25 | | 0,17 | |
| Stainless steel | 0,22 | 0,22 | 0,06 | 0,06 |
| | 0,22 | | 0,06 | |
| | 0,22 | | 0,06 | |
| | 0,23 | | 0,06 | |
| Tembaga | 0,91 | 1,52 | 2,15 | 2,03 |
| | 1,67 | | 2,19 | |
| | 1,00 | | 1,48 | |
| | 2,50 | | 2,30 | |

Dari tabel 2 diperoleh nilai laju pulsa dan laju konduksi kalor yang memiliki pola sesuai dengan teori. Laju pulsa dan laju konduksi kalor dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal masing-masing logam. Semakin besar nilai konduktivitas suatu bahan, maka semakin besar laju pulsa dan laju konduksi kalornya. Berdasarkan referensi, urutan logam dengan nilai konduktivitas yang paling besar adalah tembaga, aluminium, baja, dan stainless steel. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian pada tabel 2.

PENUTUP

Simpulan

Perancangan kit percobaan penentuan konduktivitas termal logam berbasis mikrokontroler telah berhasil dilakukan. Kit percobaan ini terdiri dari sistem pemanas berupa peltier, sistem pengukur suhu berupa sensor suhu LM35, sistem pemrosesan data berupa Arduino Uno 328p, *holder*, benda uji berupa logam aluminium, baja, stainless steel, dan tembaga.

Hasil penelitian menunjukkan nilai konduktivitas untuk logam aluminium, baja, stainless steel, dan tembaga masing-masing adalah 258,41 J/s.m.°C; 736,62 J/s.m.°C; 93,50 J/s.m.°C; 509,55 J/s.m.°C. Jika dibandingkan dengan referensi (Cengel, Y.A., 2010) kesalahan yang diperoleh sebesar 9%; 1403%; 519%; 27%. Hal ini menunjukkan bahwa alat masih memiliki *error* yang besar dikarenakan beberapa sebab, sehingga diperlukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut agar diperoleh hasil yang sesuai dengan teori.

Nilai laju pulsa kalor untuk logam aluminium, baja, stainless steel, dan tembaga, masing-masing adalah 1,15 mm/s; 0,25 mm/s; 0,22 mm/s; 1,52 mm/s. Sedangkan untuk laju konduksi kalor logam aluminium, baja, stainless steel, dan tembaga masing-masing adalah 2,03 J/s; 0,16 J/s; 0,06 J/s; 1,97 J/s. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin besar nilai konduktivitas suatu bahan, maka semakin besar laju pulsa dan laju konduksi kalornya

Saran

Berdasarkan pengalaman pada saat penelitian, disarankan pada penelitian selanjutnya untuk membuat sistem isolator yang baik agar tidak ada energi kalor yang terbuang dan sepenuhnya untuk pemanasan logam. Untuk bahan uji sebaiknya menggunakan plat logam, sehingga distribusi kalor terjadi secara merata di seluruh bagian logam. Selain itu, disarankan untuk menggunakan sistem pemanas yang lebih baik, karena peltier memiliki keterbatasan waktu pemanasan akibat efek peltier.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Y.A. 2010. *Thermodynamics An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Chung, D.D.L. 2001. Materials for thermal conduction. *Applied Thermal Engineering 21*, pp 1593-1605.
- Giancoli. 2009. *PHYSIC for Scientists & Engineers with Modern Physic*. New Jersey: Pearson Education, Inc. pp.497.
- Holman, J.P. 1994. *Experimental Methods for Engineers, 8th Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. pp.448.
- Holman, J.P. 2010. *Heat Transfer, 10th Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. pp.139.
- Jonsta, P., Vlckova, I., Kristak, L., Spicka, I., and Jonsta, Z. 2015. Contribution to the thermal properties of selected steels. *Metalurgija 54(1)*, pp 187-190.
- Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan. 2013. *Silabus Mata Pelajaran IPA, untuk SMP dan SMA*.
- Kumar, D., Chandra, P. 2013. Development of thermal conductivity measurement test rig for engineering material. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. Vol.8, Issue 2, pp 60-66.
- Owate, I.O., Abumere, O.E., and Avwiri, G.O. 2007. A device for thermal conductivity measurement in a developing economy. *Scientific Research and Essay*. Vol.2 (4), pp 122-126.
- PASCO Scientific. 2000. *Heat Conduction Apparatus TD-8513*.
- Peet, M.J., Hasan, H.S., and Bhadeshia, H.K. 2011. Prediction of thermal conductivity of steel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol.54, pp 2602-2608.
- Permana, B. 2009. *Sistem Pengukuran Konduktivitas Panas pada Logam Berbasis Mikrokontroler*. Skripsi Sarjana. Fisika UI. Tidak dipublikasikan.
- Sucipto, Priangkoso, T., dan Darmanto. 2013. *Analisa Konduktivitas Termal Baja ST-37 dan Kuningan*. ISSN 0216-7395. Momentum, Vol.9, pp.13-17.
- Tritt, T.M. 2004. *Thermal Conductivity: Theory, Properties and Application*. New York: Kluwer Academic / Plenum Publisher. pp.161.
- Widyanarko, L. 2013. *Pengukuran Konduktivitas Termal Logam dengan Metode Transien*. Skripsi Sarjana. Pendidikan Fisika Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. Tidak dipublikasikan.
- Wirantana, Moh. 2013. *Rancang Bangun Alat Ukur Konduktivitas Termal Bahan Logam Berbasis Mikrokontroler*. Skripsi Sarjana. Fisika UPI. Tidak dipublikasikan.