

Penentuan Konduktivitas Termal Logam Tembaga, Kuningan, dan Besi dengan Metode Gandengan

Irnin Agustina Dwi Astuti

Universitas Indraprasta PGRI
Jl. Raya Tengah No.80, Gedong, Pasar Rebo, Jakarta Timur
E-mail : am_nien@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konduktivitas termal logam tembaga, kuningan, dan besi dengan metode gandengan. Konduktivitas termal merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas. Pada materi ini mahasiswa diharapkan lebih interaktif karena berhubungan dengan kehidupan sehari-hari. Jika pembelajaran yang disampaikan diiringi dengan eksperimen maka akan lebih memudahkan memahami materi konduktivitas termal. Metode gandengan ini merupakan salah satu metode yang baru yang dapat dilakukan dengan cara mendekatkan dua buah logam untuk dipanasi. Alat ini terdiri dari *slide regulator* merk TDG, amperemeter merk SP-20D, termokopel, penerjemah termokopel, dan jangka sorong. Bahan yang digunakan dalam penelitian ada tiga macam logam yaitu logam tembaga, kuningan, dan besi. Penentuan konduktivitas termal bahan ini dilakukan dengan logam yang telah dililiti elemen pemanas (nikelin) yang dipanaskan. Kemudian divariasikan nilai tegangan listrik (V) antara 5 V-25 V. Diukur arus listrik (i) dan diukur perbedaan suhu (ΔT) pada ujung-ujung logam. Selanjutnya dari data V terhadap ΔT ini dilakukan dengan regresi linier. Nilai konduktivitas termal diperoleh $k = (3,5 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ untuk tembaga; $k = (1,0 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ untuk kuningan; dan $k = (0,8 \pm 0,0) \times 10^2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ untuk besi.

Kata kunci : konduktivitas termal, metode gandengan, tembaga, kuningan, besi.

1. Pendahuluan

Apabila di dalam suatu sistem terdapat perbedaan suhu, maka akan terjadi perpindahan energi. Proses perpindahan energi itu disebut dengan perpindahan panas. Perpindahan panas adalah ilmu yang menjelaskan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material (Suparno, 2009). Ilmu pengetahuan yang membahas tentang hubungan antara panas dan bentuk-bentuk energi disebut termodinamika (Young, 2002). Proses perpindahan panas akan mengalir dari daerah yang suhunya lebih rendah menuju daerah yang suhunya lebih tinggi. Pernyataan tersebut dikenal sebagai hukum kedua termodinamika (Kreith, 1997). Secara singkat panas dapat dipindahkan melalui tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi merupakan proses panas yang mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair, atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Sedangkan konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi karena adanya aliran.

Materi termodinamika dipelajari pada tingkat mahasiswa Pendidikan Fisika S1 di semester

tiga. Pada materi ini mahasiswa diharapkan lebih interaktif karena berhubungan dengan kehidupan sehari-hari. Jika pembelajaran yang disampaikan diiringi dengan eksperimen maka akan lebih memudahkan memahami materi konduktivitas termal. Dalam berbagai buku sudah dituliskan besarnya nilai konduktivitas termal dari berbagai bahan, tetapi sebagian besar mahasiswa tidak mengetahui dari mana nilai konduktivitas bahan itu bisa diperoleh. Alangkah baiknya jika dalam pembelajaran mahasiswa langsung dibawa kedalam kenyataannya atau bereksperimen agar lebih memudahkan dalam memahami materi yang diajarkan. Menurut Putra (2013), metode eksperimen dapat diartikan sebagai cara belajar mengajar yang melibatkan mahasiswa dengan mengalami serta membuktikan sendiri proses dan hasil percobaan.

Terkait dengan bahan logam, Mainil (2012) telah melakukan penelitian tentang kaji eksperimental alat uji konduktivitas termal kuningan. Dalam penelitiannya pada bahan dasar (stainless steel), distribusi temperatur melihat kelinierannya. Hasil penelitiannya menunjukkan ralat relatif konduktivitas termal kuningan sebesar 49 % dari nilai referensi.

Penentuan konduktivitas termal yang dilakukan pada eksperimen di atas diperoleh ralat yang cukup

besar sehingga harus ada inovasi baru dalam eksperimen untuk menentukan konduktivitas termal dengan menghasilkan nilai yang mendekati referensi atau ralat kecil. Dalam penentuan konduktivitas termal biasanya dibutuhkan alat yang cukup besar dan tidak bisa dibawa kemana-mana sehingga kurang efektif jika alat dibawa dalam kegiatan pembelajaran. Oleh karena itu, dibutuhkan alat yang lebih sederhana, mudah dirangkai dan dijalankan oleh mahasiswa.

Tujuan dalam penelitian ini yaitu mendesain rancang bangun alat eksperimen dan menentukan nilai konduktivitas termal logam tembaga, kuningan, dan besi dengan metode gandengan.

2. Pembahasan

Bagian ini dapat dibagi dalam beberapa sub pokok pembahasan sesuai dengan kebutuhan tulisan. Tidak ada batasan yang baku mengenai jumlah pemerincian sub pokok bahasannya; tetapi setidaknya mengandung: metode, hasil, dan diskusi.

Bab ditulis dengan font times new roman ukuran 10, sementara untuk sub bab menggunakan ukuran 10 dan keduanya dicetak tebal.

2.1. Dasar Teori

Konduktivitas panas suatu bahan adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas (termal) (Holman, 1995). Menurut Mushach (1995), nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Misalnya selembar pelat memiliki tampang lintang A dan tebal Δx , kedua permukaannya dipertahankan pada suhu yang berbeda. Akan diukur panas Q yang mengalir tegak lurus terhadap permukaan selama waktu t . Eksperimen menunjukkan bahwa untuk beda suhu antara kedua permukaan sebesar ΔT , Q sebanding dengan waktu t dan tampang lintang A dan jika t dan A kecil maka Q sebanding dengan $\Delta T/\Delta x$ untuk t dan A yang diberikan. maka

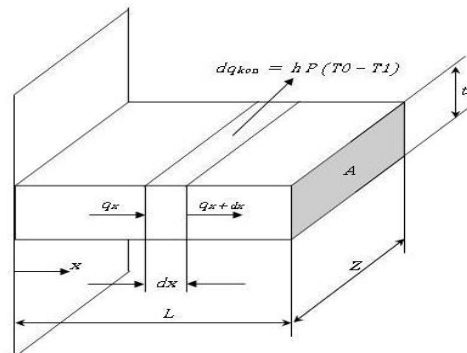
$$\frac{Q}{t} \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Jika tebal pelat tipis sekali mencapai infinitesimal dx maka beda suhu antara kedua permukaan dT sehingga diperoleh rumus untuk konduksi:

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Dengan dQ/dt adalah laju perpindahan panas terhadap waktu, dT/dx gradien suhu dan k konduktivitas termal. Jika x semakin bertambah

maka suhu T semakin berkurang maka pada ruas kanan persamaan diberi tanda negatif (dQ/dt positif, jika dT/dx negatif).



Gambar 1. Volume unsur untuk analisis konduksi-kalor satu dimensi (Kern, 1950)

Suatu sistem satu dimensi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 menunjukkan bahwa jika sistem ini berada pada keadaan tunak (*steady state*), yaitu jika suhu tidak berubah menurut waktu, maka tidak perlu melakukan integrasi pada persamaan (2) dan mensubstitusi nilai-nilai yang sesuai untuk memecahkan masalah tersebut.

Bahan yang memiliki konduktivitas termal besar merupakan konduktor yang baik dan sebaliknya bahan yang memiliki konduktivitas kecil merupakan konduktor yang jelek. Pada tabel 1 diberikan nilai k untuk berbagai bahan.

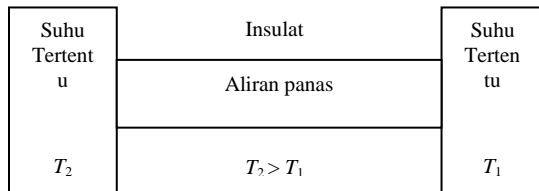
Tabel 1. Konduktivitas termal untuk berbagai bahan (Zemansky, 2002)

Bahan	k (W/m.K)	Bahan	k (W/m.K)
Logam		Lain-lain	
Aluminium	205,0	Bata	0,6
Kuningan	109,0	merah	0,15
Tembaga	385,0	Bata	0,8
Timbal	34,7	isolasi	0,04
Perak	406,0	Beton	0,8
Baja	50,2	Gabus	0,04
Raksa	8,3	Kaca	0,01
Besi	73	Batu	
Gas		Styrofoam	
Udara	0,024		
Argon	0,016		
Helium	0,14		
Hidrogen	0,14		
Oksigen	0,023		

Misalkan persamaan batang dengan panjang L dan tampang lintang A berada pada keadaan tunak (*steady state*) seperti pada gambar 2. Pada keadaan tunak suhu di setiap tempat pada setiap saat konstan. Di sini dQ/dt sama pada seluruh penampang. Namun sesuai dengan persamaan (2) sehingga untuk k dan A konstan, maka gradien suhu dT/dx sama pada seluruh

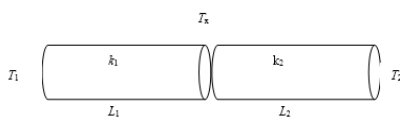
permukaan tampak lintang. T turun secara linier sepanjang batang dan $\frac{dT}{dx} = \frac{(T_2 - T_1)}{L}$. Oleh sebab itu panas yang ditransfer pada selama waktu t adalah (Toifur, 2001):

$$\frac{Q}{t} = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3)$$



Gambar 2. Konduksi panas melalui batang konduksi yang terisolasi

Fenomena konduksi panas menunjukkan meskipun ada keterkaitan antara panas dan suhu namun sangat berbeda. Aliran panas melalui batang tidak sama dengan beda suhu antara ujung-ujung batang. Untuk batang yang berlainan jika beda suhunya sama dalam waktu yang sama akan mentransfer panas yang berbeda.



Gambar 3. Konduksi panas melalui dua lapis bahan yang memiliki konduktivitas berbeda

Misal dua pelat dengan panjang berbeda seperti pada gambar 3 yaitu L_1 dan L_2 dilekatkan terbuat dari bahan yang berbeda dengan konduktivitas termal k_1 dan k_2 . Jika suhu permukaan luar T_2 dan T_1 maka laju panas yang melalui ikatan kedua plat dalam keadaan tunak, dengan T_x merupakan suhu *interface* antara kedua bahan, maka

$$\frac{Q_2}{t} = \frac{k_2 A (T_x - T_2)}{L_2} \quad (4)$$

$$\frac{Q_1}{t} = \frac{k_1 A (T_1 - T_x)}{L_1} \quad (5)$$

Pada keadaan tunak $\left(\frac{Q_1}{t} = \frac{Q_2}{t}\right)$, sehingga

$$\frac{Q}{t} = \frac{A(T_2 - T_1)}{\left(\frac{L_1}{k_1}\right) + \left(\frac{L_2}{k_2}\right)} \quad (6)$$

2.2. Metode Penelitian

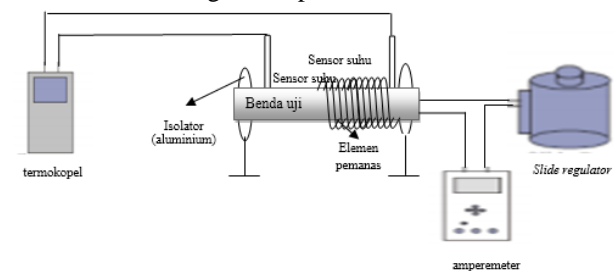
Alat ini terdiri dari *slide regulator* merk TDG, amperemeter merk SP-20D, termokopel, penerjemah

termokopel, dan jangka sorong. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah logam tembaga, kuningan, dan besi (seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4). Logam tembaga dengan panjang 9,82 cm; diameter 1,62 cm; dan jarak antara dua titik 7,82 cm. Logam kuningan dengan panjang 9,48 cm; diameter 1,62 cm; dan jarak antara dua titik 7,48 cm. Logam besi dengan panjang 8,21 cm; diameter 1,59 cm; dan jarak antara dua titik 6,21 cm.



Gambar 4. Logam tembaga, kuningan, besi

Pada rancangan alat percobaan seperti pada gambar 5 dibutuhkan dua sensor suhu untuk mengukur suhu pada bagian ujung-ujung logam. Logam tersebut dililiti elemen panas berupa nikelin sehingga mampu menghantarkan panas pada logam. Setelah dihubungkan ke sumber tegangan dan diukur kuat arus listriknya, selanjutnya didapatkan nilai perbedaan suhu antar ujung-ujung logam dan nilai arus listrik (i) dan tegangan listrik (V) yang dapat dilihat dari rancangan alat percobaan.



Gambar 5. Rancangan penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam eksperimen adalah sebagai berikut:

- i. Menyusun alat-alat menjadi rangkaian sistem perangkat penelitian seperti gambar 5 dengan meletakkan sebuah dua logam tembaga secara bergandengan.
- ii. Mengukur jarak antara ujung-ujung logam tembaga dan memasang termokopel.
- iii. Menghidupkan slide regulator.
- iv. Mengatur tegangan listrik dari 5 V, 10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V.
- v. Mengukur arus listrik yang mengalir dan mengamati perubahan suhu pada ujung-ujung logam. Kemudian masukkan data hasil penelitian dengan format tabel seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai tegangan listrik, arus listrik, dan perbedaan suhu

No.	V (volt)	I (A)	ΔT (K)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

- vi. Menganalisis konduktivitas termal logam.
- vii. Mengulangi langkah 1-6 untuk dua logam sejenis yaitu kuningan-kuningan dan besi-besi

Metode yang digunakan pada penelitian penentuan konduktivitas termal berbagai logam dengan menggunakan metode gandengan yaitu dengan menggunakan persamaan linear atau garis lurus model $y = ax + b$, dimana x adalah variabel bebas yang terletak pada sumbu datar, dan y adalah variabel terikat yang terletak pada sumbu tegak. a adalah kemiringan (gradien) garis dan b adalah titik potong garis lurus dengan sumbu tegak.

Dari persamaan (6) kemudian diubah dalam bentuk

$$\Delta T = \frac{L}{kA} (Vi) \quad (7)$$

dengan: ΔT = perbedaan suhu dua titik (K), I = konduktivitas termal logam ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), A = luas penampang bahan (m^2), L = jarak antara dua titik (m), V = tegangan listrik (volt), dan i = arus listrik (A).

Maka diperoleh persamaan regresi linear

$$y = ax + b \quad (8)$$

Dengan memisalkan $(Vi) = x$ dan $\Delta T = y$. Adanya daya hantar panas ini akan menimbulkan perubahan suhu sehingga daya hantar panas sebagai variabel bebas dan perubahan suhu sebagai variabel terikat.

Dengan luas penampang (A) yang sama maka dapat dijabarkan sebagai berikut, :

$$a = \frac{1}{A} \left(\frac{L_1}{k} + \frac{L_2}{k} \right) \quad (9)$$

Karena panjang logam sama $L_1 = L_2$, maka diperoleh gradien dari dua logam yang sejenis yaitu

$$a = \frac{2L}{ka} \quad (10)$$

Sehingga persamaan konduktivitas termal logam menjadi

$$k = \frac{2L}{aA} \quad (11)$$

2.3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian dari logam tembaga, kuningan dan besi dengan metode gandengan dapat ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil konduktivitas termal logam

No	Jenis logam	Nilai konduktivitas termal percobaan ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	Nilai konduktivitas termal referensi ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	Error relatif (%)
1.	Tembaga	346	385	9,9
2.	Kuningan	120	109	10
3.	Besi	80	73	9,6

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal yang paling besar adalah tembaga, dan yang paling kecil adalah besi. Dari analisis yang diperoleh terlihat bahwa besarnya konduktivitas termal berbanding terbalik dengan perbedaan suhu, sehingga adanya perbedaan suhu yang besar dapat diperoleh nilai konduktivitas termalnya kecil, dan sebaliknya. Karena nilai konduktivitas termal tembaga paling besar maka tembaga merupakan penghantar yang paling baik diantara kuningan dan besi.

Error relatif ini terlalu besar dikarenakan pada waktu percobaan berlangsung penggandengan antara kedua logam kurang rapat sehingga terdapat kebocoran aliran panas. Ini akan mempengaruhi perubahan suhu yang berakibat nilai konduktivitas termal jauh dari nilai referensi. Dari percobaan yang dilakukan diperoleh nilai konduktivitas termal logam yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Bahan logam yang digunakan kemungkinan tidak standar atau kandungan logam seperti tembaga, kuningan, dan besi tidak sama seperti kandungan logam yang terdapat pada referensi. Logam harus terisolasi dengan baik dari lingkungan sehingga menjaga kualitas logam dan tidak akan mempengaruhi konduktivitas termal logam.

3. Kesimpulan dan Saran

3.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian penentuan konduktivitas termal logam tembaga, kuningan, dan besi dengan metode gandengan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Alat layak digunakan dalam praktikum dan memiliki kemampuan untuk membedakan nilai konduktivitas termal dari berbagai logam.
2. Nilai konduktivitas termal dua logam sejenis dengan metode gandengan diperoleh $k = (3,5 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ untuk

tembaga; $k = (1,0 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
untuk kuningan; dan $k = (0,8 \pm 0,0) \times 10^2$
 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ untuk besi.

3.2 Saran

Pada penelitian ini pengujian alat eksperimen baru dilakukan dengan logam tembaga, kuningan, dan besi. Diharapkan pada penelitian berikutnya untuk meneliti logam lain seperti aluminium, perak, baja, dan lain – lain. Dibutuhkan ketelitian dalam memasang alat untuk dua logam dengan metode gandengan, agar tidak ada panas yang keluar atau terjadi kebocoran saat dua logam ditempelkan, sehingga bisa diperoleh nilai konduktivitas termal logam yang mendekati referensi. Pada saat melakukan eksperimen kondisi logam harus terisolasi dengan baik dari lingkungan sehingga akan terjaga kualitas logamnya.

Daftar Pustaka

- Holman, J.P. 1995. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Kern, D.Q. 1950. *Process Heat Transfer*. New York: Mc-Graw Hill.
- Kreith, F. 1997. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
- Mainil, A.K. 2012. Kaji Eksperimental Alat Uji Konduktivitas Termal Bahan. *Jurnal Seminar Nasional Mesin Dan Industri (SNMI7) 2012*.
- Mushach, M. 1995. *Termodinamika dan Mekanika Statistik*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Putra, Sitiava Rizema. 2013. *Desain Belajar Mengajar Kreatif Berbasis Sains*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Suparno, P. 2009. *Pengantar Termofisika*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Toifur. 2001. *Fisika-3 Untuk Mahasiswa Teknik*. Yogyakarta: UAD Press.
- Young, HD dan Freedman, R. 2002. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Zemansky, Mark W dan Dittman, R.H. 1986. *Kalor dan Termodinamika*. Bandung: ITB.

Nama Penanya : Aji Saputro
Pertanyaan :
Apakah berpengaruh pada koefisien apabila digunakan pada logam yang digunakan pada percobaan skala besar?

Ketepatan koefisien tidak dipengaruhi ukuran logam?

Jawaban :
Ujung logam harus halus, agar tidak ada kebocoran aliran panas. Masih menggunakan logam kecil, bedanya jika menggunakan logam yang besar adalah pada perubahan suhunya akan lama.
Belum skala besar, karena masih untuk pembelajaran saja.