

LAMPIRAN A
FOTO-FOTO RANGKAIAN PENELITIAN





LAMPIRAN B
MODUL PRAKTIKUM
RANCANGAN EKSPERIMEN UNTUK MENGUKUR
KONDUKTIVITAS TERMAL LOGAM

I. TUJUAN

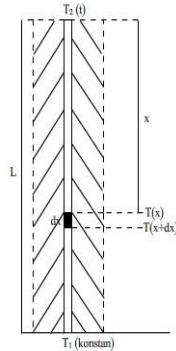
Untuk dapat menemukan konduktivitas termal berbagai jenis logam sendiri dengan melakukan penelitian.

II. TEORI

Dalam praktek dikenal berbagai macam metode pengukuran konduktivitas kalor zat padat, namun yang paling banyak digunakan adalah metode aliran aksial (aliran kalor sepanjang sumbu simetri batang zat padat) plat tunggal. Dalam hal demikian, hasil pengukurannya disebut pengukuran absolut. Cara lain dengan metode serupa, tetapi dengan plat jamak dengan semua plat kecuali satu plat terbuat dari material yang telah diketahui konduktivitas kalornya, maka konduktivitas kalor plat yang belum diketahui konduktivitas kalornya dapat ditentukan melalui perbandingan.

Pengukuran konduktivitas kalor dengan metode tersebut memiliki kelebihan dalam hal hasil yang diperoleh hanya bergantung pada besaran-besaran yang terukur langsung, yaitu kalor yang mengalir per satuan waktu, dan beda suhu pada dua permukaan yang terpisah pada jarak l . Namun demikian, diperlukan dua reservoir kalor yang baik untuk mendapatkan aliran kalor yang stasioner.

Apabila dua reservoir kalor yang baik tidak dapat diperoleh, melainkan hanya satu reservoir kalor yang dapat diupayakan, maka cara transient dapat dilakukan untuk menentukan koefisien konduktivitas kalor batang dengan memperhitungkan besaran-besaran fisis dari batang yang diukur konduktivitasnya.



Gambar 2.3 Batang logam dengan suhu salah satu ujung dipertahankan konstan.

Tinjau elemen batang logam setebal dx pada lokasi yang berjarak x dari ujung yang bersuhu T_2 yang berubah terhadap waktu. Jika kalor jenis batang logam c , maka kalor yang diperlukan untuk memberikan selisih suhu antara permukaan x dan permukaan $x + dx$ adalah:

$$\Delta Q = c \cdot dm \cdot \Delta T = c \cdot \frac{dx}{L} \cdot m \Delta T \quad (1.1)$$

Jika beda suhu ΔT tersebut dicapai dalam interval waktu Δt , maka;

$$\begin{aligned} \Delta T &= T(x + dx, t + dt) - T(x, t) \\ &\simeq T(x, t) + \frac{\partial T_x}{\partial t} \Delta t - T(x, t) \\ &= \frac{\partial T_x}{\partial t} \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (1.2)$$

Substitusi persamaan (1.1) ke persamaan (1.2) menghasilkan :

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \frac{c \cdot m}{L} \cdot dx \cdot \frac{\partial T_x}{\partial t} \cdot \Delta t \\ \frac{\Delta Q}{\Delta t} &= \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{\partial}{\partial t} T_x \cdot dx \end{aligned} \quad (1.3)$$

Dengan T_x menyatakan suhu penampang yang berjarak x dari T_2 . Fluks alirankalor sepanjang batang pada setiap penampang sama, meskipun berubah terhadap waktu, karena aliran kalor hanya terjadi sepanjang sumbu silinder (batang logam). Aliran kalor dari

arah radial dapat diabaikan karena batang terisolir. Besar aliran kalor pada seluruh batang per satuan waktu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{d}{dt} \int T_x \cdot dx \quad (1.4)$$

Dengan mengasumsikan distribusi suhu yang linear sepanjang batang maka diperoleh :

$$T_x = T_2 + \frac{x}{L} \cdot (T_1 - T_2) \quad (1.5)$$

Karena T_1 konstan maka $\frac{d}{dt} T_1 = 0$, sehingga:

$$\frac{d}{dt} T_x = \left(1 - \frac{x}{L}\right) \cdot \frac{dT_2}{dt} \quad (1.6)$$

Substitusi persamaan (1.6) ke persamaan (1.4) menghasilkan:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{dT_2}{dt} \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right) dx \quad (1.7)$$

$$\dot{Q} \equiv \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1.8)$$

Ruas kiri persamaan (1.7) sama dengan ruas kiri persamaan (1.8). Dengan substitusi persamaan (1.8) ke persamaan (1.7) diperoleh :

$$\begin{aligned} & -k \cdot A \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (1.9) \\ & = \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{dT_2}{dx} \cdot \left(\frac{1}{2}L\right) \\ \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{L} & = \frac{1}{2} m \cdot c \cdot \frac{dT_2}{dt} \end{aligned}$$

T_1 konstan, maka :

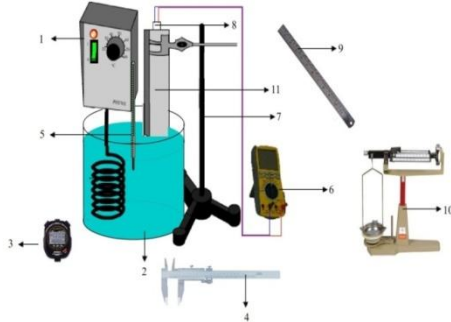
$$\frac{d}{dt} (T_2) = \frac{d}{dt} (T_2 - T_1) = -\frac{d}{dt} (T_1 - T_2) \quad (2.0)$$

Substitusi persamaan (3.5) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\ln(T_1 - T_2) = -\frac{2kA}{m \cdot c \cdot L} \cdot t + \ln C \quad (2.1)$$

Dengan melakukan pengukuran suhu kedua ujung batang sebagai fungsi waktu maka kemiringan grafik $\ln(T_1 - T_2)$ terkait dengan $-\frac{2kA}{m.c.L}$.

III. ALAT-ALAT YANG DIBUTUHKAN

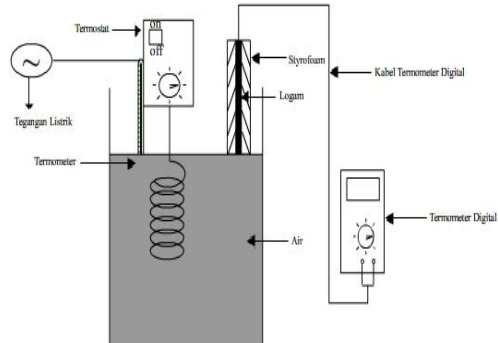


Gambar 1.1 Gambar alat dan bahan yang digunakan

1. Set alat Termostat
2. Air
3. Stopwatch
4. Jangka Sorong
5. Termometer Manual
6. Termometer Digital
7. Statip
8. Logam
9. Penggaris
10. Neraca
11. Styrofoam/Gabus

IV. PELAKSANAAN PERCOBAAN DAN PENGAMATAN

1. Menyiapkan alat seperti pada **Gambar 1.1**



Gambar 1.2 Skema rangkaian percobaan

2. Mengukur panjang, massa, dan luas penampang logam stainless steel dan besi.
3. Mengisi bejana dengan air dan mengukur suhu air,
4. Mengisolasi besi dan stainless steel dengan styrofoam/gabus yang tebalnya ± 5 cm sampai yang terlihat ujung bawah dan ujung atas logam (besi dan stainless steel).
5. Merangkai alat dan bahan seperti pada **Gambar 1.2**
6. Mengukur suhu awal logam yang sudah terisolasi dengan styrofoam menggunakan termometer digital dan mencatat suhu awalnya (T_2).
7. Memanaskan air yang ada pada bejana dengan menggunakan termostat dan mengatur suhu yang akan digunakan untuk percobaan sebesar $\pm 80^\circ\text{C}$ (T_1).
8. Menempelkan kabel yang telah tersambung dengan termometer digital di atas ujung logam yang tidak mengenai air dan ditutup dengan lakban (isolasi), supaya tidak terlepas.
9. Memastikan suhu kedua ujung logam harus sama dengan suhu ruangan yang digunakan.
10. Setelah termometer menunjukkan suhu air (T_1) $\pm 80^\circ\text{C}$, kemudian styrofoam yang di dalamnya sudah terdapat logam (besi dan stainless steel) tersebut dicelupkan ke permukaan air sehingga ujung logam tersebut menyentuh air.
11. Logam dimasukkan hingga ujung permukaannya menyentuh air, kemudian stopwatch dinyalakan.
12. Mencatat perubahan suhu (T_2) dari suhu awal logam ($T_{\text{mula-mula}}$).
13. Mencatat waktu yang dipengaruhi oleh perubahan suhu, jadi saat suhu awal logam (T_2) berubah terhadap waktu maka saat itulah waktunya (t) dicatat.

LAMPIRAN C

DATA-DATA KOEFISIEN KONDUKTIVITAS TERMAL

Stainless Steel I

Keterangan Suhu		$c \left(\frac{J}{g \cdot K} \right)$	m (gram)	A (m ²)	l (m)	k (menit)	k (detik)
29-45	0.024	495.5	0.2956	0.0002	0.19	1661.77918	27.6963
46-53	0.015	495.5	0.2956	0.0002	0.19	1038.611987	17.3102
54-61	0.002	495.5	0.2956	0.0002	0.19	138.4815983	2.30803
Total	0.006	495.5	0.2956	0.0002	0.19	415.444795	6.92408

Stainless Steel II

Keterangan Suhu		$c \left(\frac{J}{g \cdot K} \right)$	m (gram)	A (m ²)	l (m)	k (menit)	k (detik)
32-48	0.023	495.5	0.2956	0.0002	0.19	1592.54	26.5423
49-55	0.008	495.5	0.2956	0.0002	0.19	553.93	9.23211
56-60	0.001	495.5	0.2956	0.0002	0.19	69.2408	1.15401
Total	0.006	495.5	0.2956	0.0002	0.19	415.4448	6.92408

Stainless Steel III

Keterangan Suhu		$c \left(\frac{J}{g \cdot K} \right)$	m (gram)	A (m ²)	l (m)	k (menit)	k (detik)
31-50	0.024	495.5	0.2956	0.0002	0.19	1661.77918	27.6963
51-56	0.011	495.5	0.2956	0.0002	0.19	761.6487908	12.6941
57-59	0.004	495.5	0.2956	0.0002	0.19	276.9631967	4.61605
Total	0.014	495.5	0.2956	0.0002	0.19	969.3711883	16.1562

Besi I

Keterangan Suhu		$c \left(\frac{J}{g \cdot K} \right)$	m (gram)	A (m ²)	l (m)	k (menit)	k (detik)
35-46	0.017	449	0.2956	0.0002	0.19	1066.63	17.7772
47-51	0.013	449	0.2956	0.0002	0.19	815.66	13.5943
52-57	0.008	449	0.2956	0.0002	0.19	501.94	8.36572
Total	0.014	449	0.2956	0.0002	0.19	878.4009	14.64

Besi II

Keterangan Suhu		$c \left(\frac{J}{g \cdot K} \right)$	m (gram)	A (m ²)	l (m)	k (menit)	k (detik)
31-46	0.024	449	0.2968	0.0002	0.19	1511.94	25.1991
47-52	0.019	449	0.2968	0.0002	0.19	1196.95	19.9492
53-57	0.006	449	0.2968	0.0002	0.19	377.99	6.29976
Total	0.016	449	0.2968	0.0002	0.19	1007.9621	16.7994

Besi III

Keterangan Suhu		$c \left(\frac{J}{g \cdot K} \right)$	m (gram)	A (m ²)	l (m)	k (menit)	k (detik)
31-45	0.021	449	0.2956	0.0002	0.19	1317.60	21.96
46-51	0.016	449	0.2956	0.0002	0.19	1003.89	16.7314
52-57	0.006	449	0.2956	0.0002	0.19	376.46	6.27429
Total	0.014	449	0.2956	0.0002	0.19	878.4009	14.64

LAMPIRAN D

TABEL DARI HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS

HEAT CAPACITY OF SELECTED SOLIDS

This table gives the molar heat capacity at constant pressure of representative metals, semiconductors, and other crystalline solids as a function of temperature in the range 200 to 600 K.

2. Garvin, D., Parker, V. B., and White, H. J. *CODATA Thermodynamic Tables*, Hemisphere Press, New York, 1987.
3. DIPPR Database of Pure Compound Properties, Design Institute for Physical Properties Data, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1987.

References

1. Chase, M. W., et al., *JANAF Thermochemical Tables, 3rd ed., J. Phys. Chem. Ref. Data*, 14, Suppl. 1, 1985.

Name	C_p in J/mol K						
	200 K	250 K	300 K	350 K	400 K	500 K	600 K
Aluminum	21.33	23.08	24.25	25.11	25.78	26.84	27.89
Aluminum oxide	51.12	67.05	79.45	88.91	96.14	106.17	112.55
Anthracene	138.6	173.9	210.7	248.8	288.4		
Benzoic acid	102.7	123.5	147.4	172.0			
Beryllium	9.98	13.58	16.46	18.53	19.95	21.94	23.34
Biphenyl	131.0	162.5	197.2				
Boron	5.99	8.82	11.40	13.65	15.69	18.72	20.78
Calcium	24.54	25.41	25.94	26.32	26.87	28.49	30.38
Calcium carbonate	66.50	75.66	83.82	91.51	96.97	104.52	109.86
Calcium oxide	33.64	38.59	42.18	45.07	46.98	49.33	50.72
Cesium chloride	50.13	51.34	52.48	53.58	54.68	56.90	59.10
Chromium	19.86	22.30	23.47	24.39	25.23	26.63	27.72
Cobalt	22.23	23.98	24.83	25.68	26.53	28.20	29.66
Copper	22.63	23.77	24.48	24.95	25.33	25.91	26.48
Copper oxide	34.80		42.41	44.95	46.78	49.19	50.83
Copper sulfate	77.01	89.25	99.25	107.65	114.93	127.19	136.31
Germanium			23.25	23.85	24.31	24.96	25.45
Gold			25.41	25.37	25.51	26.06	26.65
Graphite	5.01	6.82	8.58	10.24	11.81	14.62	16.84
Hexachlorobenzene	162.7	183.6	202.4				
Iodine	51.57	53.24	54.51	58.60			
Iron	21.59	23.74	25.15	26.28	27.39	29.70	32.05
Lead	25.87	26.36	26.85	27.30	27.72	28.55	29.40
Lithium	21.57	23.42	24.64	25.96	27.60	29.28	
Lithium chloride	43.35	46.08	48.10	49.66	50.97	53.34	55.59
Magnesium	22.72	24.02	24.90	25.57	26.14	27.17	28.18
Magnesium oxide			37.38	40.59	42.77	45.56	47.30
Manganese	23.05	24.95	26.35	27.52	28.53	30.29	31.90
Naphthalene	105.8	134.1	167.8	204.1			
Potassium	27.00	28.01	29.60				
Potassium chloride	48.44	50.10	51.37	52.31	53.08	54.71	56.35
Silicon	15.64	18.22	20.04	21.28	22.14	23.33	24.15
Silicon dioxide	32.64	39.21	44.77	49.47	53.43	59.64	64.42
Silver			25.36	25.55	25.79	26.36	26.99
Sodium	22.45	27.01	28.20	30.14			
Sodium chloride	46.89	48.85	50.21	51.25	52.14	53.96	55.81
Tantalum	24.08	24.86	25.31	25.60	25.84	26.35	26.84
Titanium	22.37	24.07	25.28	26.17	26.86	27.88	28.60
Tungsten	22.49	23.69	24.30	24.65	24.92	25.36	25.79
Vanadium	21.88	23.70	24.93	25.68	26.23	26.94	27.49
Zinc	24.05	25.02	25.45	25.88	26.35	27.39	28.59
Zirconium	23.87	24.69	25.22	25.61	25.93	26.56	27.28

THERMAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF PURE METALS

This table gives the following properties for the metallic elements:

- T_m : Melting point in °C
- T_b : Normal boiling point in °C, at a pressure of 101.325 kPa (760 Torr)
- $\Delta_{\text{fus}}H$: Enthalpy of fusion at the melting point in J/g
- ρ_{25} : Density at 25 °C in g/cm³
- β_{25} : Coefficient of linear expansion at 25 °C in K⁻¹ (the quantity listed is $10^6 \times \alpha$)
- c_p : Specific heat capacity at constant pressure at 25 °C in J/g K
- λ : Thermal conductivity at 27 °C in W/cm K

References

1. Dinola, A. T., *CALPHAD*, 15, 317, 1991 (melting points, enthalpy of fusion).
2. Touloukian, Y. S., *Thermophysical Properties of Matter*, Vol. 12, Thermal Expansion, IFI/Plenum, New York, 1975 (coefficient of expansion, density).

3. Ho, C. Y., Powell, R. W., and Liley, P. E., *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 3, Suppl. 1, 1974 (thermal conductivity).
4. Cox, J. D., Wagman, D. D., and Medvedev, V. A., *CODATA Key Values for Thermodynamics*, Hemisphere Publishing Corp., New York, 1989 (heat capacity).
5. Glushko, V. P., Ed., *Thermal Constants of Substances*, VINITI, Moscow, (enthalpy of fusion, heat capacity).
6. Wagman, D. D., et al., *The NBS Tables of Chemical Thermodynamic Properties*, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 11, Suppl. 2, 1982 (heat capacity).
7. Chase, M. W., et al., *JANAF Thermochemical Tables*, 3rd ed., *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 14, Suppl. 1, 1985 (heat capacity, enthalpy of fusion).
8. Gschneidner, K. A., *Bull. Alloy Phase Diagrams*, 11, 216-224, 1990 (various properties of the rare earth metals).
9. Hellwege, K. H., Ed., *Landolt Börnstein, Numerical Values and Functions in Physics, Chemistry, Astronomy, Geophysics, and Technology*, Vol. 2, Part 1, *Mechanical-Thermal Properties of State*, 1971 (density).
10. *Physical Encyclopedic Dictionary*, Vol. 1-5, Encyclopedy Publishing House, Moscow, 1960-66.

Metal (symbol)	Atomic weight	T_m , °C	T_b , °C	$\Delta_{\text{fus}}H$, J/g	ρ_{25} , g/cm ³	$\alpha \times 10^6$, K ⁻¹	c_p , J/g K	λ , W/cm K
Actinium (Ac)		1050	3198		10		0.12	
Aluminum (Al)	26.98	660.32	2519	399.9	2.70	23.1	0.897	2.37
Antimony (Sb)	121.76	630.628	1587	162.5	6.68	11.0	0.207	0.243
Barium (Ba)	137.33	727	1897	51.8	3.62	20.6	0.205	0.184
Beryllium (Be)	9.01	1287	2471	876.0	1.85	11.3	1.82	2.00
Bismuth (Bi)	208.98	271.406	1564	53.3	9.79	13.4	0.122	0.0787
Cadmium (Cd)	112.41	321.069	767	55.2	8.69	30.8	0.231	0.968
Calcium (Ca)	40.08	842	1484	213.1	1.54	22.3	0.646	2.00
Cerium (Ce)	140.11	799	3443	39.0	6.77	6.3	0.192	0.113
Cesium (Cs)	132.91	28.44	671	15.7	1.93	97	0.242	0.359
Chromium (Cr)	52.00	1907	2671	404	7.15	4.9	0.450	0.937
Cobalt (Co)	58.93	1495	2927	272.5	8.86	13.0	0.421	1.00
Copper (Cu)	63.55	1084.62	2562	203.5	8.96	16.5	0.384	4.01
Dysprosium (Dy)	162.50	1412	2567	68.1	8.55	9.9	0.170	0.107
Erbium (Er)	167.26	1529	2868	119	9.07	12.2	0.168	0.145
Europlium (Eu)	151.96	822	1529	60.6	5.24	35.0	0.182	0.139
Gadolinium (Gd)	157.25	1313	3273	63.6	7.90	9.4	0.235	0.105
Gallium (Ga)	69.72	29.7666	2204	80.0	5.91	18	0.374	0.406
Gold (Au)	196.97	1064.18	2856	64.6	19.3	14.2	0.129	3.17
Hafnium (Hf)	178.49	2233	4603	152.4	13.3	5.9	0.144	0.230
Holmium (Ho)	164.93	1472	2700	103	8.80	11.2	0.165	0.162
Iodine (I)	114.82	156.60	2072	28.6	7.31	32.1	0.233	0.816
Iridium (Ir)	192.22	2446	4428	213.9	22.5	6.4	0.131	1.47
Iron (Fe)	55.85	1538	2861	247.3	7.87	11.8	0.449	0.802
Lanthanum (La)	138.91	920	3464	44.6	6.15	12.1	0.195	0.134
Lead (Pb)	207.20	327.462	1749	23.1	11.3	28.9	0.127	0.353
Lithium (Li)	6.94	180.5	1342	432	0.534	46	3.57	0.847
Lutetium (Lu)	174.97	1663	3402	126	9.84	9.9	0.154	0.164
Magnesium (Mg)	24.30	650	1090	348.9	1.74	24.8	1.024	1.56
Manganese (Mn)	54.94	1246	2061	235.0	7.3	21.7	0.479	0.0782
Mercury (Hg)	200.59	-38.8290	356.62	11.4	13.5336	60.4	0.139	0.0834
Molybdenum (Mo)	95.94	2623	4639	390.7	10.2	4.8	0.251	1.38
Neodymium (Nd)	144.24	1016	3074	49.5	7.01	9.6	0.191	0.165
Neptunium (Np)		644		13.5	20.2			0.063
Nickel (Ni)	58.69	1455	2913	290.3	8.90	13.4	0.445	0.907

12-204

Thermal and Physical Properties of Pure Metals

Metal (symbol)	Atomic weight	t_m °C	t_b °C	$\Delta_{fus} H$ J/g	ρ_{25} g/cm ³	$\alpha \times 10^6$ K ⁻¹	c_p J/g K	λ W/cm K
Niobium (Nb)	92.91	2477	4744	323	8.57	7.3	0.265	0.537
Osmium (Os)	190.23	3033	5012	304.1	22.59	5.1	0.130	0.876
Palladium (Pd)	106.42	1554.8	2963	157.3	12.0	11.8	0.244	0.718
Platinum (Pt)	195.08	1768.2	3825	113.6	21.5	8.8	0.133	0.716
Plutonium (Pu)		640	3228	11.6	19.7	46.7		0.0674
Polonium (Po)		254	962		9.20	23.5		0.20
Potassium (K)	39.10	63.38	759	59.6	0.89	83.3	0.757	1.024
Praseodymium (Pr)	140.91	931	3520	48.9	6.77	6.7	0.193	0.125
Promethium (Pm)		1042	3000 ^a		7.26	11 ^a	0.19 ^a	0.15 ^a
Protactinium (Pa)	231.04	1572		53.4	15.4			
Radium (Ra)		696			5			
Rhenium (Re)	186.21	3185	5596	324.5	20.8	6.2	0.137	0.479
Rhodium (Rh)	102.91	1964	3695	258.4	12.4	8.2	0.243	1.50
Rubidium (Rb)	85.47	39.30	688	25.6	1.53		0.364	0.582
Ruthenium (Ru)	101.07	2333	4150	381.8	12.1	6.4	0.238	1.17
Samarium (Sm)	150.36	1072	1794	57.3	7.52	12.7	0.196	0.133
Scandium (Sc)	44.96	1541	2836	314	2.99	10.2	0.567	0.158
Silver (Ag)	107.87	961.78	2162	104.6	10.5	18.9	0.235	4.29
Sodium (Na)	22.99	97.794	882.94	113.1	0.97	71	1.225	1.41
Strontium (Sr)	87.62	777	1382	84.8	2.64	22.5	0.306	0.353
Tantalum (Ta)	180.95	3017	5458	202.1	16.4	6.3	0.140	0.575
Technetium (Tc)		2157	4265	339.7	11			0.506
Terbium (Tb)	158.93	1359	3230	67.9	8.23	10.3	0.182	0.111
Thallium (Tl)	204.38	304	1473	20.3	11.8	29.9	0.129	0.461
Thorium (Th)	232.04	1750	4788	59.5	11.7	11.0	0.118	0.540
Thulium (Tm)	168.93	1545	1950	99.7	9.32	13.3	0.160	0.169
Tin (Sn)	118.71	231.93	2602	60.4	7.26	22.0	0.227	0.666
Titanium (Ti)	47.88	1668	3287	295.6	4.51	8.6	0.522	0.219
Tungsten (W)	183.84	3422	5555	284.5	19.3	4.5	0.132	1.74
Uranium (U)	238.03	1135	4131	38.4	19.1	13.9	0.116	0.276
Vanadium (V)	50.94	1910	3407	422	6.0	8.4	0.489	0.307
Ytterbium (Yb)	173.04	824	1196	44.3	6.90	26.3	0.154	0.385
Yttrium (Y)	88.91	1522	3345	128	4.47	10.6	0.298	0.172
Zinc (Zn)	65.39	419.53	907	108.1	7.14	30.2	0.388	1.16
Zirconium (Zr)	91.22	1854.7	4409	230.2	6.52	5.7	0.278	0.227

^a Estimated.^b At 100 °C.

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF STAINLESS STEEL 310

Stainless steel is used in a wide variety of applications, especially at high temperatures. This table gives properties of a reference standard Stainless Steel 310 certified by the U. K. National Physical Laboratory. The properties are:

- a : thermal diffusivity in $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$
 c_p : specific heat capacity at constant pressure in $\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$
 ρ : density in g cm^{-3}
 k : thermal conductivity in $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

With kind permission from Springer Science+Business Media: International Journal of Thermophysics, 28, 674, 2007, Table II.

Reference

Blumm, J., Lindemann, A. Niedrig, B., and Campbell, R., *Int. J. Thermophys.* 28, 674, 2007.

$t/^\circ\text{C}$	$a/\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$	$c_p/\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\rho/\text{g cm}^{-3}$	$k/\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
-125	3.170	0.376	7.878	9.39
-100	3.130	0.411	7.871	10.12
-75	3.145	0.435	7.863	10.76
-50	3.170	0.451	7.855	11.23
-25	3.210	0.464	7.846	11.69
0	3.256	0.475	7.838	12.12
25	3.352	0.483	7.829	12.67
50	3.439	0.490	7.820	13.18
101	3.611	0.501	7.801	14.11
150	3.763	0.512	7.782	14.99
200	3.917	0.518	7.762	15.75
250	4.075	0.525	7.742	16.56
300	4.205	0.533	7.722	17.31
350	4.331	0.541	7.701	18.04
400	4.455	0.548	7.681	18.75
450	4.571	0.555	7.660	19.43
500	4.686	0.562	7.639	20.12
550	4.806	0.570	7.618	20.86
600	4.920	0.579	7.596	22.24
651	5.058	0.601	7.574	23.02
701	5.179	0.607	7.551	23.74
750	5.207	0.611	7.529	23.95
800	5.288	0.617	7.506	24.49
850	5.404	0.624	7.483	25.23
901	5.506	0.633	7.460	26.00
950	5.618	0.645	7.436	26.94
1000	5.707	0.655	7.411	27.70

THERMAL CONDUCTIVITY OF METALS AND SEMICONDUCTORS AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

This table gives the temperature dependence of the thermal conductivity of several metals and of carbon, germanium, and silicon. For graphite, separate entries are given for the thermal conductivity parallel (||) and perpendicular (⊥) to the layer planes. The thermal conductivity of all these materials is very sensitive to impurities at low temperatures, especially below 100 K. Therefore, the values given here should be regarded as typical values for a highly purified specimen; the thermal conductivity of different specimens can vary by more than an order of magnitude in the low-temperature range. See Reference 2 for details.

References

1. Ho, C. Y., Powell, R. W., and Liley, P. E., *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **1**, 279, 1972.
2. White, G. K., and Minges, M. L., *Thermophysical Properties of Some Key Solids*, CODATA Bulletin No. 59, 1985.

T/K	Thermal Conductivity in W/cm K										
	Carbon (C)										
	Ag	Al	Au	Diamond (type)			Pyrolytic graphite		Cr	Cu	
				I	IIa	IIb		⊥			
1	39.4	41.1	5.46							0.402*	42.2
2	78.3	81.8	10.9	0.0138*	0.033*	0.0200*				0.803	84.0
3	115	121	16.1	0.0461	0.111	0.0676				1.20	125
4	147	157	20.9	0.108	0.261	0.160				1.60	162
5	172	188	25.2	0.206	0.494	0.307				2.00	195
6	187	213	28.5	0.344	0.820	0.510				2.39	222
7	193	229	30.9	0.523	1.24	0.778				2.27	239
8	190	237	32.3	0.762	1.77	1.12				3.14	248
9	181	239	32.7	1.05	2.41	1.53				3.50	249
10	168	235	32.4	1.40	3.17	2.03	0.811	0.0116		3.85	243
15	96.0	176	24.6	3.96	8.65	5.66				5.24	171
20	51.0	117	15.8	7.87	16.8	11.2	4.20	0.0397		5.93	108
30	19.3	49.5	7.55	18.8	38.9	26.5	9.86	0.0786		5.49	44.5
40	10.5	24.0	5.15	29.4	65.9	44.0	16.4	0.120		4.25	21.7
50	7.0	13.5	4.21	35.3	92.1	59.1	23.1	0.152		3.17	12.5
60	5.5	8.5	3.74	37.4	112	67.5	29.8	0.173		2.48	8.29
70	4.97	5.85	3.48	36.9	119	69.1	36.6	0.181		2.07	6.47
80	4.71	4.32	3.32	35.1	117	65.7	42.8	0.181		1.84	5.57
90	4.60	3.42	3.28	32.7	109	60.0	47.5	0.176		1.69	5.08
100	4.50	3.02	3.27	30.0	100	54.2	49.7	0.168		1.59	4.82
150	4.32	2.48	3.25	19.5	60.2	32.5	45.1	0.125		1.29	4.29
200	4.30	2.37	3.23	14.1	40.3	22.6	32.3	0.0923		1.11	4.13
250	4.29	2.35	3.21	11.0	29.7	17.0	24.4	0.0711		1.00	4.06
300	4.29	2.37	3.17	8.95	23.0	13.5	19.5	0.0570		0.937	4.01
350	4.27	2.40	3.14	7.55*	18.5*	11.1*	16.2	0.0477		0.929	3.96
400	4.25	2.40	3.11	6.5*	15.4*	9.32*	13.9	0.0409		0.909	3.93
500	4.19	2.36	3.04				10.8	0.0322		0.860	3.86
600	4.12	2.31	2.98				8.92	0.0268		0.807	3.79
800	3.96	2.18	2.84				6.67	0.0201		0.713	3.66
1000	3.79		2.70				5.34	0.0160		0.654	3.52
1200	3.61*		2.55				4.48	0.0134		0.619	3.39
1400							3.84	0.0116		0.588	
1600							3.33	0.0100		0.556	
1800							2.93	0.00895		0.526*	
2000							2.62	0.00807		0.494*	

Thermal Conductivity of Metals and Semiconductors as a Function of Temperature

12-207

T/K	Fe	Ge ^a	Mg	Ni	Pb	Pt	Si ^a	Sn	Ti	W
1	1.71	0.274	9.86	2.17	27.9	2.31	0.0693*	183	0.0144*	14.4
2	3.42	2.06	19.6	4.34	44.6	4.60	0.454	323	0.0288*	28.7
3	5.11	5.35	29.0	6.49	35.8	6.79	1.38	297	0.0432	42.8
4	6.77	8.77	37.6	8.59	22.2	8.8	2.97	181	0.0575	56.3
5	8.39	11.6	45.0	10.6	13.8	10.5	5.27	117	0.0719	68.7
6	9.93	13.9	50.8	12.5	8.10	11.8	8.23	76	0.0863	79.5
7	11.4	15.5	54.7	14.2	4.86	12.6	11.7	52	0.101	88.0
8	12.7	16.6	56.7	15.8	3.20	12.9	15.5	36	0.115	93.8
9	13.9	17.3	57.0	17.1	2.30	12.8	19.5	26	0.129	96.8
10	14.8	17.7	55.8	18.1	1.78	12.3	23.3	19.3	0.143	97.1
15	17.0	17.3	41.1	19.5	0.845	8.41	41.6	6.3	0.212	72.0
20	15.4	14.9	27.2	16.5	0.591	4.95	49.8	3.2	0.275	40.5
30	10.0	10.8	12.9	9.56	0.477	2.15	48.1	1.79	0.365	14.4
40	6.23	7.98	7.19	5.82	0.451	1.39	35.3	1.33	0.390	6.92
50	4.05	6.15	4.65	4.00	0.436	1.09	26.8	1.15	0.374	4.27
60	2.85	4.87	3.27	3.08	0.425	0.947	21.1	1.04	0.355	3.14
70	2.16	3.93	2.49	2.50	0.416	0.862	16.8	0.96	0.340	2.58
80	1.75	3.25	2.02	2.10	0.409	0.815	13.4	0.915	0.326	2.29
90	1.50	2.70	1.78	1.83	0.403	0.789	10.8	0.880	0.315	2.17
100	1.34	2.32	1.69	1.64	0.397	0.775	8.84	0.853	0.305	2.08
150	1.04	1.32	1.61	1.22	0.379	0.740	4.09	0.779	0.270	1.92
200	0.94	0.968	1.59	1.07	0.367	0.726	2.64	0.733	0.245	1.85
250	0.865	0.749	1.57	0.975	0.360	0.718	1.91	0.696	0.229	1.80
300	0.802	0.599	1.56	0.907	0.353	0.716	1.48	0.666	0.219	1.74
350	0.744	0.495	1.55	0.850	0.347	0.717	1.19	0.642	0.210	1.67
400	0.695	0.432	1.53	0.802	0.340	0.718	0.989	0.622	0.204	1.59
500	0.613	0.338	1.51	0.722	0.328	0.723	0.762	0.596	0.197	1.46
600	0.547	0.273	1.49	0.656	0.314	0.732	0.619		0.194	1.37
800	0.433	0.198	1.46*	0.676		0.756	0.422		0.197	1.25
1000	0.323	0.174		0.718		0.787	0.312		0.207	1.18
1200	0.283			0.762		0.826	0.257		0.220	1.12
1400	0.312			0.804		0.871	0.235		0.236	1.08
1600	0.330					0.919	0.221		0.253	1.04
1800	0.345*					0.961			0.270*	1.01
2000						0.994*				0.98

^a Values below 300 K are typical values.

* Extrapolated.

PENGUKURAN KONDUKTIVITAS TERMAL LOGAM DENGAN METODE TRANSIENT

Lylyawati Widyanarko*, J.V. Djoko Wirjawan, Tjondro
Indrasutanto
Program Studi Pendidikan Fisika
Universitas Katolik Widya Manda Surabaya
lylyawati@gmail.com

Abstract: *Measurements of thermal conductivity on various metals have been conducted and the results have been published in many references. Precise measurements of thermal conductivity of metals are usually using steady state method; the temperatures at both ends of the metal are kept constant to ensure that the heat flow along the metal is also constant. This research is aimed at measuring the thermal conductivity of metals (stainless steel and iron) at various temperatures using transient method. The temperature of one end of the metal is kept constant, while the other end is left in direct contact with the environment. Therefore, the heat transfer from one end to the other end of the metal changes with time and decays exponentially with time as the temperature difference between the two ends decreases. The results of the measurements in the vicinity of 50 °C for the stainless steel and the iron, successively, were 12,3 W/m.K dan 16.8 W/m.K. The tabulated values were 13,6 W/m.K dan 78.7 W/m.K. Applying t-test with 5% level of significance leads to conclusion that for stainless steel there was no difference between the measured thermal conductivity and the tabulated value, while for iron there was difference between the measured thermal conductivity and the tabulated value. Therefore, further research is still needed on the measurement of thermal conductivity of metals using transient method.*

Keywords: *Thermal Conductivity, Transient Method, Stainless Steel, Iron.*

Abstrak: *Pengukuran konduktivitas termal logam telah banyak dilakukan dan hasilnya telah ditabelkan dalam buku-buku referensi.*

Pengukuran yang teliti terhadap konduktivitas termal logam pada umumnya dilakukan dalam kondisi tunak (steady state) di mana suhu kedua ujung batang logam dipertahankan konstan sehingga aliran kalor pada batang logam setiap saat konstan. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur konduktivitas termal stainless steel dan besi dengan cara transien. Salah satu ujung batang logam dipertahankan konstan sedangkan ujung yang lain dibiarkan berkontak dengan udara luar sehingga aliran kalor yang terjadi pada batang logam tidak lagi konstan, melainkan mengecil dengan bertambahnya suhu ujung logam yang berkontak dengan udara. Setelah dilakukan pengukuran, konduktivitas termal stainless steel dan besi pada suhu sekitar 50 °C secara berurutan 12,3 W/m.K dan 16.8 W/m.K. Nilai yang ditabelkan untuk kedua besaran tersebut adalah 13,6 W/m.K dan 78.7 W/m.K. Dengan menggunakan uji t pada taraf signifikansi 5 %, dapat disimpulkan bahwa untuk stainless steel tidak ada perbedaan antara konduktivitas termal hasil pengukuran dengan nilai yang ditabelkan, sedangkan untuk besi hasil pengukuran konduktivitas termal berbeda dari nilai yang ditabelkan. Dengan demikian, diperlukan penelitian lebih lanjut pada metode pengukuran koefisien konduktivitas termal logam dengan cara transien.

Kata kunci: *Koefisien Konduktivitas Termal Logam, Stainless Steel dan Besi.*

PENDAHULUAN

Fisika adalah ilmu pengetahuan yang paling mendasar, karena berhubungan dengan perilaku dan struktur benda (Giancoli, 2001). Materi fisika cenderung bersifat abstrak, selain membutuhkan penguasaan teori yang cukup sehingga mahasiswa yang mengambil mata kuliah fisika membutuhkan daya imajinasi dan ketrampilan matematika yang baik. Di samping itu, dalam mempelajari

dan memahami suatu materi fisika, mahasiswa juga harus melaksanakan kegiatan praktikum pada beberapa matakuliah yang mengharuskan adanya kegiatan praktikum. Sebagai bagian dari ilmu pengetahuan alam, Fisika tidak hanya merupakan kumpulan teori-teori saja tetapi juga merupakan implementasi dari teori-teori tersebut. Fisika merupakan cabang dari ilmu pengetahuan alam yang tidak terlepas dari kegiatan

eksperimen, praktikum, atau kegiatan sejenisnya yang dalam pelaksanaannya membutuhkan alat-alat.

Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa dalam setiap kegiatan pembelajaran Fisika, mahasiswa Fisika sering kali hanya memperoleh pengetahuan teori saja tanpa adanya kegiatan praktikum yang mengiringinya. Hal ini disebabkan karena tidak tersedianya alat-alat laboratorium sehingga kegiatan praktikum yang seharusnya menjadi ciri dari Fisika sering tidak dilaksanakan, akibatnya pemahaman terhadap fisika menjadi kurang. Oleh karena itu keberadaan alat-alat di laboratorium sangat diperlukan agar kegiatan praktikum yang mendukung proses pembelajaran bisa dilaksanakan. Pelaksanaan kegiatan praktikum tidak hanya memacu seorang mahasiswa untuk memahami teori tetapi juga untuk melakukan verifikasi, mengamati fenomena yang terjadi, mengambil data, menganalisis serta menarik kesimpulan hasil yang diperoleh dari praktikum. Penelitian ini dilakukan untuk menguji apakah pengukuran konduktivitas termal dengan metode transient memberikan hasil yang sama dengan nilai konduktivitas termal logam yang ditabelkan dalam *90th Handbook of Chemistry and Physics* CRC.

KONDUKTIVITAS TERMAL

Kalor merupakan salah satu bentuk energi yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Secara alami kalor merambat dari benda bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah. Aliran kalor dalam medium dapat terjadi melalui tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi (Tipler, 1998). Dalam penelitian ini hanya akan dibahas aliran kalor yang terjadi secara konduksi.

Jika suatu material bermassa m yang memiliki kalor jenis c menerima kalor sehingga suhunya bertambah sebesar ΔT , maka jumlah kalor ΔQ yang diterima material tersebut dapat dituliskan sebagai:

$$\Delta Q = m c \Delta T \quad (1)$$

Aliran kalor secara konduksi terjadi melalui rambatan getaran molekul-molekul penyusun material, tanpa diikuti oleh pergerakan kolektif dari molekul-molekul tersebut. Konduksi kalor atau konduksi termal dapat terjadi pada zat padat maupun zat cair dengan cara pemanasan tertentu.

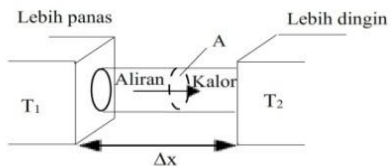
Molekul-molekul atau atom-atom suatu materi yang berada pada bagian benda yang bersuhu lebih tinggi bergetar lebih kuat apabila dibandingkan yang berada pada bagian benda yang bersuhu lebih rendah. Pada aliran kalor secara

konduksi, getaran yang lebih kuat ini dirambatkan ke bagian lain yang lebih lemah tanpa disertai dengan perpindahan kolektif atom-atom atau molekul-molekul penyusun materi. Jika benda berupa batang logam, perpindahan kalor dibantu oleh elektron-elektron bebas yang bergerak di seluruh logam, sambil menerima dan memberi energi ketika bertumbukan dengan atom-atom logam.

Konduksi kalor hanya terjadi jika ada perbedaan suhu. Pada percobaan ditemukan bahwa kecepatan aliran kalor dalam satuan J/s melalui benda sebanding dengan perbedaan suhu pada ujung-ujungnya, dan bergantung pada bentuk, ukuran, dan jenis material penyusun benda. Secara umum laju aliran kalor secara konduksi yang melintasi permukaan silinder dengan luas penampang A , dengan panjang Δx , dan beda suhu ΔT dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

k pada persamaan (2) menyatakan konduktivitas termal benda. Tanda negatif pada persamaan (2) ditambahkan untuk menyatakan arah aliran kalor, yaitu dari bagian bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu lebih rendah seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Konduksi kalor pada batang

Pada gambar 1 diperlihatkan suatu batang logam dengan panjang Δx dan luas penampang A . Untuk mendapatkan aliran kalor yang konstan ujung kiri batang dikontakkan dengan tandon (reservoir) kalor yang bersuhu konstan T_1 dan ujung kanan dikontakkan dengan tandon kalor bersuhu konstan T_2 . Pada gambar 1 Δx bernilai positif dan $\Delta T = T_2 - T_1$. Apabila $T_1 > T_2$, maka $\Delta T < 0$ dan $\frac{\Delta Q}{\Delta t} > 0$. Sebaliknya jika $T_1 < T_2$ maka $\Delta T > 0$ dan $\frac{\Delta Q}{\Delta t} < 0$. Hal ini berarti bahwa arah aliran kalor ditentukan oleh ΔT dan tanda minus pada pers. 2 ditambahkan agar sesuai dengan hasil pengamatan yang menunjukkan aliran kalor dari suhu tinggi ke suhu rendah. Laju aliran kalor (J/s) sebanding dengan luas penampang lintang dan dengan gradien temperatur $\left(\frac{T_1 - T_2}{\Delta x}\right)$.

Penentuan konduktivitas termal batang

Konduktivitas termal batang logam dapat ditentukan

melalui persamaan 2. Menggunakan metode steady state (tunak), konduktivitas termal batang logam dapat dihitung secara sederhana sebagai perbandingan antara laju aliran kalor per satuan luas $\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)/A$ dan gradien suhu $\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)$ pada batang logam.

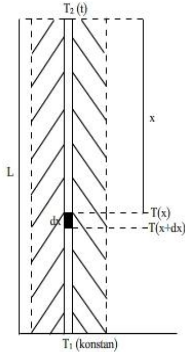
$$k = - \frac{1}{A} \frac{\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)}{\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)}$$

Pada keadaan stasioner atau steady state, baik laju aliran kalor maupun gradien suhu bernilai konstan. Namun, untuk mendapatkan keadaan steady, suhu kedua ujung batang logam harus dipertahankan konstan, misalnya dengan bantuan tandon kalor pada masing-masing ujung batang.

Dalam praktek, salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mencapai keadaan steady adalah dengan mengontakkan salah satu ujung batang logam ke uap air panas yang suhunya dipertahankan konstan 100 °C dan ujung yang lain dikontakkan dengan balok es yang bersuhu 0 °C. Aliran perpindahan kalor diukur dengan menimbang es yang mencair untuk setiap selang waktu tertentu. Informasi tersebut digabungkan dengan data luas penampang, gradien suhu pada batang logam, dan persamaan (3) menghasilkan konduktivitas termal logam yang dialiri kalor.

Metode lain yang dapat ditempuh untuk mengukur konduktivitas termal logam dilakukan dengan metode transient (Wirjawan, 2012) Batang logam diisolasi dalam arah radial untuk menghindari aliran kalor dalam arah radial. Salah satu ujung batang logam dikontakkan dengan tandon kalor bersuhu T_1 yang konstan dan ujung yang lain dibiarkan berkontak dengan udara luar.

Dalam penelitian ini dilakukan alternatif pengukuran melalui keadaan transien (tak tunak). Suatu batang logam berbentuk silinder dengan luas penampang A dan panjang L dilapisi dengan styrofoam untuk membatasi aliran kalor dalam arah radial. Salah satu ujung batang dikontakkan dengan bak air yang dipanaskan dengan heater yang dilengkapi dengan thermostat untuk menjaga agar suhunya konstan. Ujung yang lain dari batang dibiarkan berkontak dengan udara luar sehingga terjadi aliran kalor dalam arah aksial (sumbu batang silinder logam) dari permukaan yang berkontak dengan air menuju ke permukaan yang berkontak dengan udara luar. Perubahan suhu pada ujung ini diamati dan dicatat sebagai fungsi waktu.



Gambar 2 Batang logam terisolasi dalam arah radial.

Untuk melakukan perhitungan konduktivitas kalor logam, tinjau elemen batang logam setebal dx pada lokasi yang berjarak x dari ujung yang bersuhu T_2 yang berubah terhadap waktu. Jika kalor jenis batang logam c , suhu permukaan pada posisi x adalah T dan suhu permukaan pada posisi $x + dx$ adalah $T + \Delta T$ maka jumlah kalor yang diperlukan untuk memberikan selisih suhu antara permukaan x dan permukaan $x + dx$ adalah:

$$\Delta Q = c \cdot dm \cdot \Delta T = c \cdot \frac{dx}{L} \cdot m \Delta T \quad (4)$$

Apa bila beda suhu ΔT tersebut dicapai dalam interval waktu Δt , maka;

$$\begin{aligned} \Delta T &= T(x + dx, t + \Delta t) - T(x, t) \\ &\simeq T(x, t) + \frac{\partial T_x}{\partial t} \Delta t - T(x, t) \\ &= \frac{\partial T_x}{\partial t} \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (5)$$

Substitusi persamaan (4) ke persamaan (5) akan menghasilkan :

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \frac{c \cdot m}{L} \cdot dx \cdot \frac{\partial T_x}{\partial t} \cdot \Delta t \\ \frac{\Delta Q}{\Delta t} &= \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{\partial}{\partial t} T_x \cdot dx \end{aligned} \quad (6)$$

Dengan T_x menyatakan suhu penampang yang berjarak x dari T_2 . Meskipun berubah dari waktu ke waktu, karena aliran kalor hanya terjadi sepanjang sumbu silinder (batang logam) fluks aliran kalor pada setiap penampang batang sama. Aliran kalor dalam arah radial dapat diabaikan karena batang terisolasi. Besar aliran kalor pada seluruh batang per satuan waktu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{d}{dt} \int T_x \cdot dx \quad (7)$$

Dengan mengasumsikan distribusi suhu yang linear sepanjang batang maka diperoleh :

$$T_x = T_2 + \frac{x}{L} \cdot (T_1 - T_2) \quad (8)$$

Karena T_1 konstan maka $\frac{d}{dt} T_1 = 0$, sehingga:

$$\frac{d}{dt} T_x = \left(1 - \frac{x}{L}\right) \cdot \frac{dT_2}{dt} \quad (9)$$

Substitusi persamaan (9) ke persamaan (7) akan menghasilkan:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{dT_2}{dt} \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right) dx \quad (10)$$

Ruas kiri persamaan (10) sama dengan ruas kiri persamaan (2). Dengan substitusi persamaan (2) ke persamaan (10) diperoleh :

$$\begin{aligned} &-k \cdot A \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{L} \\ &= \frac{c \cdot m}{L} \cdot \frac{dT_2}{dt} \cdot \left(\frac{1}{2}L\right) \end{aligned}$$

$$k \cdot A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{L} = \frac{1}{2} m \cdot c \cdot \frac{dT_2}{dt} \quad (11)$$

Karena T_1 konstan, maka :

$$\frac{d}{dt}(T_2) = \frac{d}{dt}(T_2 - T_1) = -\frac{d}{dt}(T_1 - T_2) \quad (12)$$

Substitusi persamaan (12) ke persamaan (11), setelah melalui proses integral akan memberikan:

$$\ln(T_1 - T_2) = -\frac{2kA}{m \cdot c \cdot L} \cdot t + \ln C \quad (13)$$

Dengan melakukan pengukuran suhu ujung batang yang berkontak dengan udara luar sebagai fungsi waktu maka kemiringan grafik $\ln(T_1 - T_2)$ terhadap waktu terkait dengan $-\frac{2kA}{m \cdot c \cdot L}$. Apabila massa, panjang, luas penampang, dan kalor jenis batang logam diketahui maka konduktivitas termal batang logam dapat ditentukan dari kemiringan grafik $\ln(T_1 - T_2)$ terhadap waktu.

PENGUKURAN KONDUKTIVITAS

Alat dan bahan yang digunakan

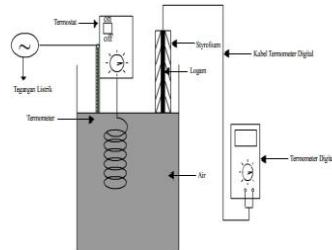
1. Set alat Termostat
2. Air
3. Stopwatch
4. Jangka Sorong
5. Termometer Manual
6. Termometer Digital
7. Statip

8. Logam (stainless steel dan besi)

9. Penggaris

10. Neraca

11. Styrofoam/Gabus



Gambar 3 Skema rangkaian percobaan



Gambar 4 Foto rangkaian percobaan

Pelaksanaan Percobaan

1. Menyiapkan alat-alat yang diperlukan
2. Mengukur panjang (L), massa (m), dan luas

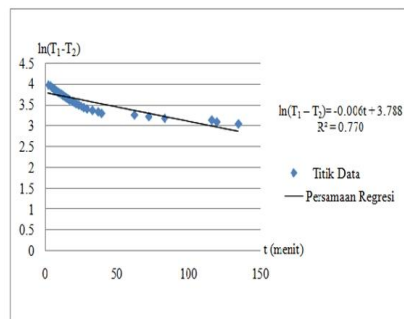
- penampang (A) logam stainless steel
3. Mengisolasi stainless steel dengan gabus / styrofoam setebal ± 5 cm sampai yang terlihat ujung bawah dan ujung atas logam.
 4. Mengisi bejana dengan air; menyalakan heater yang dilengkapi dengan termostat untuk memanasi air hingga suhu tertentu.
 5. Mengukur suhu awal kedua ujung batang logam yang sudah terisolasi dengan styrofoam dan memastikan bahwa suhu kedua permukaan tersebut sama dengan suhu udara luar.
 6. Merangkai alat dan bahan seperti pada Gambar 3
 7. Menempelkan kabel yang tersambung dengan termometer digital pada ujung logam yang tak berkontak dengan air dan ditutup dengan lakban (isolasi), supaya tidak terlepas.
 8. Setelah termometer menunjukkan suhu air (T_1) $\pm 80^\circ\text{C}$, kemudian styrofoam yang di dalamnya sudah terdapat logam stainless steel tersebut dicelupkan ke permukaan air sehingga ujung logam menyentuh

air. Stop watch mulai dijalankan.

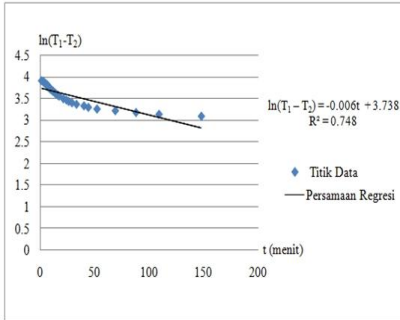
9. Mencatat perubahan suhu (T_2) pada ujung logam yang tak berkontak dengan air dan waktu-waktu yang bersesuaian dengan setiap kali terjadinya perubahan suhu.
10. Mengulang percobaan sebanyak 3 kali.
11. Mengulangi langkah nomor 1 – 10 untuk batang logam yang berbeda (besi).

HASIL PENELITIAN

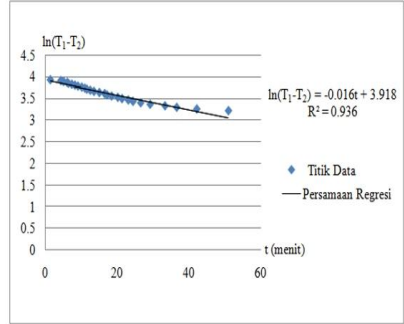
Menggunakan hasil pengukuran yang dilakukan pada stainless steel diperoleh data untuk ketiga kali pengukuran. Grafik $\ln(T_1 - T_2)$ terhadap waktu t (dalam satuan menit) untuk masing-masing pengukuran ditunjukkan pada gambar 5 – 10.



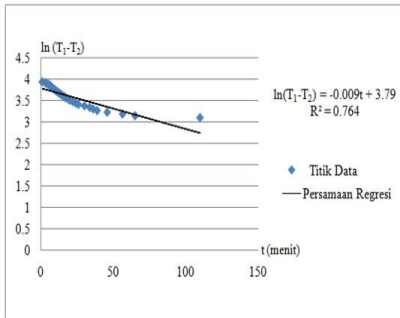
Gambar 5. Grafik $\ln(T_1 - T_2)$ vs t stainless steel (data I)



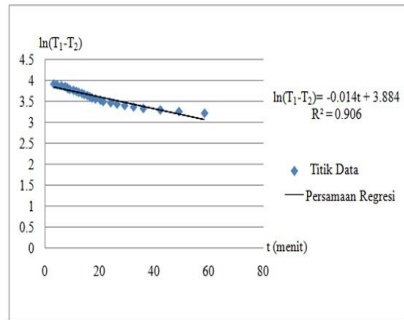
Gambar 6. Grafik $\ln(T_1-T_2)$ vs t stainless steel (data II)



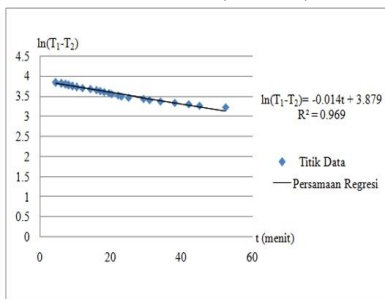
Gambar 9. Grafik $\ln(T_1-T_2)$ vs t besi (data II)



Gambar 7. Grafik $\ln(T_1-T_2)$ vs t stainless steel (data III)



Gambar 10. Grafik $\ln(T_1-T_2)$ vs t besi (data III)



Gambar 8. Grafik $\ln(T_1-T_2)$ vs t besi (data I)

Berdasarkan gambar 4 – 9 yang memperlihatkan grafik $\ln(T_1-T_2)$ sebagai fungsi waktu yang disertai dengan persamaan regresi linear, terlihat bahwa tidak ada satu pun garis lurus yang merepresentasikan titik-titik data dengan baik. Hal ini sesuai dengan nilai konduktivitas termal yang ditabelkan; di mana konduktivitas

termal logam tidaklah konstan, melainkan bervariasi terhadap suhu.

Untuk memperoleh garis-garis terbaik yang merepresentasikan data, titik-titik data hasil pengukuran dikelompokkan dalam beberapa rentang suhu sedemikian sehingga pada setiap rentang tersebut titik-titik data dapat dinyatakan oleh sebuah garis regresi dengan $R^2 > 0.95$

Hasil pengukuran terhadap panjang (L), luas penampang (A) dan massa (m) pada kedua batang logam dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Hasil pengukuran

Jenis logam	L (m)	A (m ²)	m (g)
Stainless steel	0,19	0,0002	295.6
Besi	0,19	0,0002	296.8

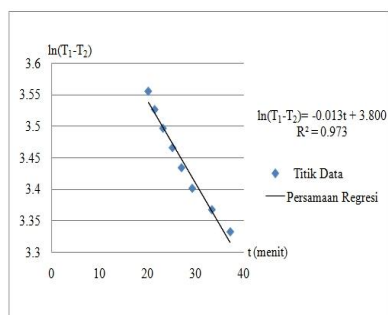
Sebagai pelengkap perhitungan besaran konduktivitas termal logam dan pembandingan hasil pengukuran, data tentang kalor jenis dan konduktivitas termal yang ditabelkan pada suhu 50°C (Lide, 2009) ditampilkan dalam tabel 2.

Tabel 2 Data c dan k pada suhu 50°C

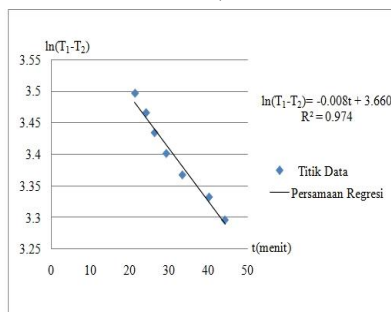
Jenis logam	c (J/g.K)	k (W/m.K)
Stainless steel	0.495	13.645
Besi	0.733	78.7

ANALISIS DATA

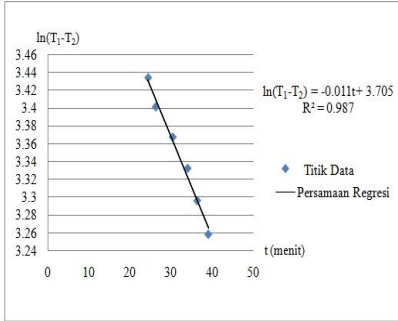
Dengan menggunakan pengelompokan titik-titik data dalam rentang-rentang suhu yang dapat menghasilkan persamaan regresi linear dengan $R^2 > 0.95$ (Widyarako, 2013); khusus untuk titik-titik data yang bersesuaian dengan suhu 50°C diperoleh hasil sebagai berikut:



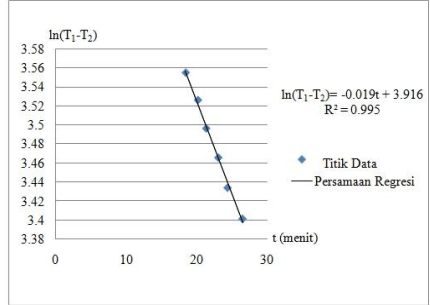
Gambar 11. Grafik $\ln(T_1-T_2)$ vs t stainless steel (data I; suhu sekitar 50°C)



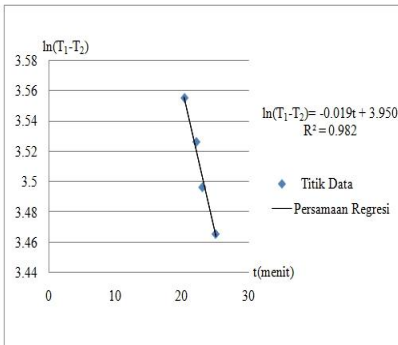
Gambar 12. Grafik $\ln(T_1-T_2)$ vs t stainless steel (data II; suhu sekitar 50°C)



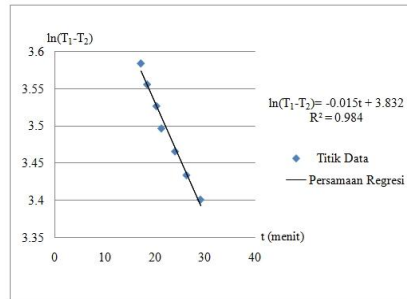
Gambar 12. Grafik $\ln(T_1 - T_2)$ vs t stainless steel (data III; suhu sekitar 50°C)



Gambar 14. Grafik $\ln(T_1 - T_2)$ vs t besi (data II; suhu sekitar 50°C)



Gambar 13. Grafik $\ln(T_1 - T_2)$ vs t besi (data I; suhu sekitar 50°C)



Gambar 15. Grafik $\ln(T_1 - T_2)$ vs t besi (data III; suhu sekitar 50°C)

Berdasarkan persamaan regresi linear yang diperoleh dari masing-masing data, kemiringan atau gradien setiap garis sama dengan $-\frac{2kA}{m \cdot c \cdot L}$. Dengan menggunakan besaran-besaran pada tabel 1 dan tabel 2 maka konduktivitas termal masing-masing data dapat dirangkum sebagai berikut:

Tabel 3. Konduktivitas termal hasil perhitungan

Pengukuran	k (W/m.K)	
	Stainless steel	Besi
1	15,00	13,59
2	9,23	19,95
3	12,69	16,73
Rata-rata	12.31	16.75
Stand. deviasi	2.37	2.59

Hasil perhitungan konduktivitas termal logam yang diperoleh dari hasil perhitungan terhadap data pengukuran dibandingkan terhadap nilai konduktivitas termal logam yang ditabelkan dengan uji statistik yang sesuai.

Setelah dilakukan uji t satu rata-rata dengan taraf signifikansi $\alpha = 5\%$ dapat disimpulkan bahwa untuk stainless steel tidak ada perbedaan antara konduktivitas termal hasil pengukuran dan konduktivitas termal yang ditabelkan; namun untuk besi ternyata ada perbedaan antara konduktivitas termal hasil pengukuran dan konduktivitas termal yang ditabelkan.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian pengukuran konduktivitas termal logam

(stainless steel dan besi) pada suhu sekitar 50° dengan metode transient (tak tunak) ternyata belum dapat digunakan untuk menyimpulkan secara definitif apakah metode transient dapat dilakukan dengan hasil yang tidak berbeda dengan metode lain yang nilai konduktivitas termalnya telah ditabelkan. Dengan demikian masih diperlukan kajian lebih lanjut untuk memastikan secara definitif bahwa metode pengukuran konduktivitas termal dapat atau tidak dapat digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, D.C. 2001. *Fisika: Jilid I Edisi Kelima*. Alih Bahasa Yuhilza Hanum. Jakarta: Erlangga.
- Tipler, Paul A. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik: Jilid I Edisi Ketiga*. Alih Bahasa Lea Prasetio dan Rahmad W. Adi. Jakarta: Erlangga.
- Lide D.R. (Ed.) 2009. *90TH Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press. New York.
- Widyanarko, L. 2013. *Pengukuran Konduktivitas Termal Logam dengan Metode Transien*. Skripsi S1 Prodi Pendidikan Fisika UKWM (tidak dipublikasikan).
- Wirjawan, D. 2012. *Metode Transient untuk Pengukuran Konduktivitas*

Termal.
(<http://fisika.wima.ac.id/index.php/rd/80-pta/520-mt12> diakses 20 Desember 2012).