

DESIGN OF THERMAL CONDUCTING EQUIPMENT

Iskandar^{1*}, Parlindungan Lumban Batu¹, Nazaruddin Abdul Rahman¹, Syamsul Bahri Widodo¹

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Aceh, 24416

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 25 November 2022

Direvisi dari 30 November 2022

Diterima 15 Desember 2022

Kata Kunci:

Conducting Thermal, Daya Heater, Steady State, Heat Transfer, High Temperature, Styrofoam

ABSTRAK

This research presents the design and manufacture of thermal conductivity test equipment using heat transfer techniques (steady state) with the ability to test materials at high temperatures. The design of this test equipment is an extension of the ASTM D5470-06 standard where the same is used to calculate the surface temperature and heat transfer through the sample during the test, where at each reference rod point 10 K-type thermocouples are embedded. The maximum heater power required by the reference rod with a heating time of 1 hour is 30.4 KW. This test tool uses 3 pieces of 500-Watt power, and Thermoelectric TEC1-12706 12 Volt 6 Ampere 40x40mm, Heatsink, 12 Volt DC Fan 0.15Ampere 38x38mm, to keep the test at a steady state. And use of Thermal Paste to minimize thermal contact resistance. From the calculations it can be seen that the faster the time needed to heat the reference rod will require greater heater power, and vice versa. For high temperatures this tool can reach a test temperature of 100 °C. This research was conducted to measure the thermal conductivity of stainless steel, iron, wood, rubber, and Styrofoam. After the measurement, the thermal conductivity of stainless steel was 15.14037 W / mK Reference 14.00 W / mK, iron 41.07 W / mK Reference 79.5 W / mK, wood 1.54 W / mK Reference 0.21 W / mk, rubber 0.6 Reference 0.2 W / mk, Styrofoam 0.062 W / mk Reference 0.095 W / mk. Thus, further research is needed on the method of measuring the thermal conductivity of metals by transient means.

© 2022 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

PENDAHULUAN

Perpindahan panas adalah ilmu memprediksi perpindahan energi yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara dua benda atau bahan. Salah satu mekanisme perpindahan panas adalah konduksi atau konduksi panas. Setiap material mempunyai daya hantar ini yang di sebut dengan istilah *Thermal conductivity*. Material yang memiliki daya hantar yang besar disebut dengan konduktor (M. Ali dan R. Kurniawan, 2013).

Besaran atau angka konduktivitas termal dari suatu material dapat diukur dengan meletakkan material tersebut di antara material standar yang telah di ketahui angka konduktivitasnya. Kemudian ujung-ujung dari material standar tersebut dipertahankan pada temperatur konstan. Dengan mengetahui luas penampang material, tebal material, dan perbedaan temperatur di sepanjang material standar maka

dengan menggunakan rumus dasar perpindahan panas, dapat ditentukan kalibrasi angka konduktivitas material tersebut (H. Kaban, 2009).

Angka konduktivitas material sangat diperlukan dalam perencanaan atau perhitungan tata udara, seperti misalnya material-material bahan bangunan. Juga material-material yang memiliki angka konduktivitas yang rendah, sangat diperlukan untuk isolator, seperti *polyurethane*, *Styrofoam*, *glasswool*, dan lain-lain (R. Endovani dan A. Putra, 2016).

Pengukur konduktivitas termal adalah alat untuk mengukur konduktivitas bahan. Prinsip alat ini adalah menciptakan perbedaan suhu di seluruh material. Panas disuplai ke satu ujung dan dipertahankan di ujung lainnya dengan mengalirkan air pendingin. Seperti yang telah disebutkan di atas, dengan rumus-rumus dasar perpindahan panas, angka konduktivitas material dapat di cari (R. Ilham dan A. Putra, 2018).

Pesatnya perkembangan teknologi membutuhkan bahan rekayasa dan metode pembuatan yang sesuai

untuk menciptakan produk berkualitas dengan harga yang relatif terjangkau. Material canggih saat ini sedang dikembangkan dengan sangat pesat. Banyak industri dan lembaga penelitian di Indonesia membutuhkan peralatan untuk mendukung penelitian dalam pengembangan material lanjutan. Salah satu tantangan yang dihadapi industri dan lembaga penelitian Indonesia dalam mengembangkan penelitian adalah mendapatkan peralatan penelitian yang mahal dan anggaran penelitian yang terbatas. Alat analisis yang akan dikembangkan kali ini adalah Alat Uji Konduktivitas Termal (A. Setiawan, F. Faisal, dan A. Sulaiman, 2017).

Penelitian tersebut dapat mengukur panas dengan instrumen tertentu, seperti termokopel. Pada dasarnya, produksi sistem pengukuran ini adalah aliran panas. Hukum ini sebenarnya berasal dari hukum kekekalan energi bahwa “energi tidak dapat dimusnahkan atau diciptakan”. Hanya transfer dari area bersuhu tinggi ke area bersuhu tinggi (R. Suryani, M. Muldarisnur, dan Y. Yetri, 2019).

Dengan perkembangan teknologi, metode pengukuran konduktivitas termal secara digital banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi kerja pengumpulan data untuk mengukur konduktivitas termal. Pemrosesan sinyal digital ini dapat dilakukan dengan Arduino. Arduino ini karena alat ini memiliki kriteria sebagai berikut: Harga yang relatif rendah, banyak pilihan register pada chip, teknik pemrograman yang mudah, dan dukungan modul perangkat keras yang tersedia.

Uji konduktivitas termal sangat dipengaruhi oleh lingkungan. Oleh karena itu, saat menguji konduktivitas termal bahan, sangat penting untuk melindungi kotak alat uji dengan bahan yang tidak menghantarkan panas. Transfer energi terjadi ketika ada perbedaan suhu dalam sistem. Proses perpindahan energi disebut perpindahan kalor. Perpindahan panas adalah ilmu yang menjelaskan perpindahan energi yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara benda atau bahan (R. Suryani, M. Muldarisnur, dan Y. Yetri, 2019).

Model pendekatan analisis statistik nilai rata-rata pengukuran nilai konduktivitas (K) yang dihasilkan ternyata sangat valid menggunakan pengamatan kejadian proses kerja dari alat konduktivitas bahan yang dilengkapi dengan sensor suhu digital. Catat interval suhu. Metode penentuan panas logam juga dapat menggunakan metode model ikatan antara berbagai jenis logam, seperti kuningan, besi,

aluminium, dan lain-lain (E. Irawati, C. Huda, dan W. Kurniawan, 2019).

Termoelektrik adalah alat yang mengubah energi panas secara langsung menjadi listrik (generator termoelektrik) atau sebaliknya, menghasilkan listrik dari panas dingin (pendingin termoelektrik). Modul termoelektrik terdiri dari serangkaian bahan semikonduktor (biasanya telluride bismuth) yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, efek Peltier, dan efek Thomson. Strukturnya terdiri dari sepasang bahan semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang diapit di antara dua wafer keramik tipis untuk membentuk termokopel (K. Suarsana, I. M. Astika, dan L. Suprpto, 2018).

Pemeliharaan peralatan merupakan bagian penting, termasuk pengujian berkala, dan diharapkan dapat dilakukan dengan lebih efisien dan ekonomis. Menguji trafo arus, trafo potensial, dan trafo daya adalah sumber kehidupan untuk memastikan catu daya Anda. Metode pengukuran sebelumnya toleran terhadap kesalahan dan membutuhkan beberapa perangkat pengukuran yang berbeda. Diharapkan bahwa desain dan proses baru untuk rig uji portabel ini akan meningkatkannya (M. T. Ali Sabit, 2012).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian di laksanakan pada laboratorium teknik mesin, penelitian ini memulai dengan penetapan parameter, desain alat uji, proses manufaktur, kalibrasi dan pengujian parameter uji dan standard. Parameter uji mempersiapkan alat dan bahan setelah itu dilanjutkan dengan perancangan alat uji konduktivitas termal.

Perakitan Alat



Bahan plat stainless



Gerenda sisi hasil pembubutan



Proses pembubutan



Pembubutan pada stainless





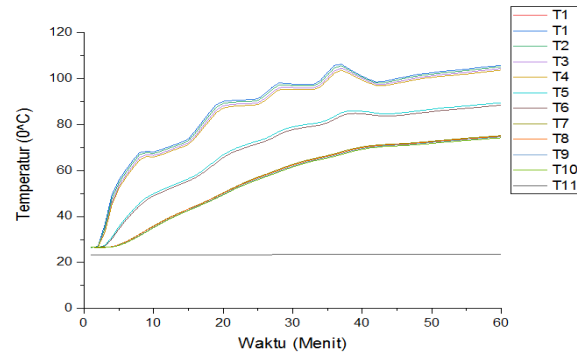
Gambar 1. Metode pengujian bahan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat uji konduktivitas termal dengan kemampuan menguji material padat pada suhu tinggi mencapai 100°C telah di buat. Desain alat ini merupakan pengembangan dari standar ASTM D5470-06 (2006) dengan menggunakan metode *axial heat flow* pendekatan aliran panas pada keadaan *steady state*. Alat ini telah divalidasi dengan dilakukannya pengujian menggunakan beberapa material dan hasilnya dibandingkan dengan hasil uji konduktivitas termal, hasilnya sebagai berikut; dapat dilihat pada gambar 2.

Pengujian dilakukan pada setiap material uji diatas pada selang perlakuan gradien suhu seperti pada tabel-tabel hasil pengujian dibawah ini. Pendingin yang digunakan yaitu Termoelektrik dengan kipas dibawah heat sink.

Grafik Pengukuran Sampel Pada Besi



Gambar 2. Pengujian Sampel Pada Besi (17 Desember 2020)

Berdasarkan Grafik hubungan antara konduktivitas termal dengan pengulangan pengukuran besi pada rentang suhu, 100°C dan 26.5°C diperoleh:

- Referensi : 79,5 W/mK
- K : 80,1 W/mK

Hasil k dari pengukuran dari Besi.

T ₁	: 71,46181
T ₂	: 70,67799
T ₃	: 69,74531
T ₄	: 69,09773
T ₅	: 58,32168
T ₆	: 57,44757
T ₇	: 49,73172
T ₈	: 49,53916
T ₉	: 49,0369
T ₁₀	: 48,68511

$$\Delta TR = 0,686514$$

$$La = 0,005$$

$$Lr = 0,003$$

$$Kr = 372$$

$$\Delta Tb = 7,71585$$

$$Lb = 0,003$$

$$Ka = 3,949856484$$

$$Kb = 3,309851902$$

$$Lb - La = -0,002$$

$$\frac{Lb}{La} = 0,000906384$$

$$\frac{Kb}{Ka} = 0,0001265868$$

$$K_a = \frac{\Delta TR}{\Delta T_a} \times \frac{L_a}{L_R} \times K_R$$

$$= \frac{0,686514}{10,77605} \times \frac{0,005}{0,03} \times 372$$

$$= 0,063707388 \times 0,1666666 \times 372$$

$$= 3,949856484$$

$$K_b = \frac{\Delta TR}{\Delta T_b} \times \frac{L_b}{L_r} \times K_R$$

$$= \frac{0,686514}{7,71858} \times \frac{0,003}{0,03} \times 372$$

$$= 0,088943043 \times 0,1 \times 372$$

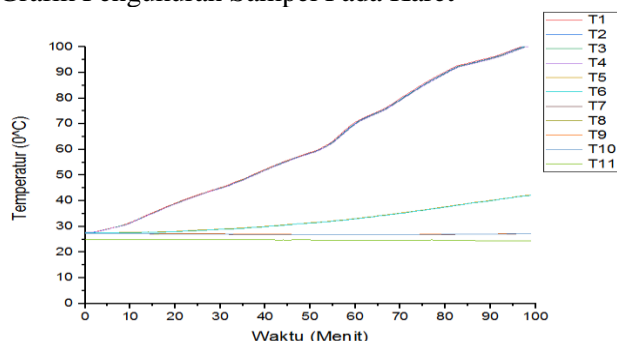
$$= 3,30981902$$

$$K = \frac{L_b - L_a}{\frac{K_b}{K_a} - \frac{L_b}{L_a}}$$

$$= \frac{-0,002}{-0,000249484}$$

$$K = 80,1654$$

Grafik Pengukuran Sampel Pada Karet



Gambar 3. Pengujian Sampel Pada Karet (18 Desember 2020)

Berdasarkan kurva hubungan antara konduktivitas termal dengan pengulangan pengukuran karet pada rentang suhu 100 °C dan 23,3 °C diperoleh:

- Referensi : 0,2 W/mK
- K : 0,6 W/mK

Hasil k dari pengukuran dari Karet.

- T₁ : 62,42
- T₂ : 62,162
- T₃ : 62,037
- T₄ : 61,9
- T₅ : 32,68
- T₆ : 32,56
- T₇ : 26,967
- T₈ : 27,033
- T₉ : 27,098
- T₁₀ : 27,027
- Δ TR = 0,574
- Δ Ta = 29,22
- La = 0,005
- Lr = 0,003
- Kr = 372
- Δ Tb = 5,593
- Lb = 0,003
- Ka = 1,217932435
- Kb = 3,817772215

$$L_b - L_a = -0,002$$

$$\frac{L_b}{K_b} = 0,000785798$$

$$\frac{L_a}{K_a} = 0,004105318$$

$$K_a = \frac{\Delta TR}{\Delta T_a} \times \frac{L_a}{L_r} \times K_R$$

$$= \frac{0,574}{29,22} \times \frac{0,005}{0,03} \times 372$$

$$= 0,019644079 \times 0,1666666 \times 372$$

$$= 1,217932435$$

$$K_b = \frac{\Delta TR}{\Delta T_b} \times \frac{L_b}{L_r} \times K_R$$

$$= \frac{0,574}{5,593} \times \frac{0,003}{0,03} \times 372$$

$$= 0,102628285 \times 0,1 \times 372$$

$$= 3,817772215$$

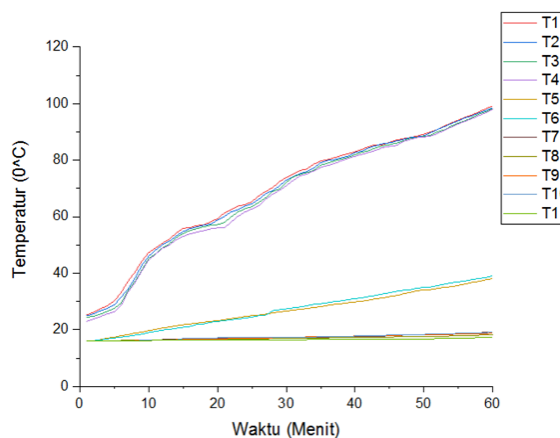
$$K = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{K_b} - \frac{L_a}{K_a}}$$

$$= \frac{-0,002}{0,000785798 - 0,004105318}$$

$$= \frac{-0,002}{-0,00331952}$$

$$K = 0,60249$$

Grafik Pengukuran Sampel Pada Kayu



Gambar 4. Pengujian Sampel Pada Kayu (19 Desember 2020)

Berdasarkan kurva hubungan antara konduktivitas termal dengan pengulangan pengukuran kayu pada rentang suhu 100 °C dan 25,6 °C diperoleh:

- Referensi : 0,21 W/mK
- K : 1,5 W/mK

Hasil k dari pengukuran dari Kayu.

- T₁ : 74,505
- T₂ : 74,0864
- T₃ : 73,5277
- T₄ : 72,8837

T_5 : 29,1021
 T_6 : 29,3752
 T_7 : 17,9617
 T_8 : 17,2099
 T_9 : 17,5738
 T_{10} : 17,7014

$\Delta TR = 2,1$

$\Delta Ta = 43,7816$

$La = 0,005$

$Lr = 0,003$

$Kr = 372$

$\Delta Tb = 10,17437$

$Lb = 0,003$

$Ka = 2,973850839$

$Kb = 7,678116679$

$Lb - La = -0,002$

$\frac{Lb}{Kb} = 720$

$\frac{La}{Ka} = 0,001681321$

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{\Delta TR}{\Delta Ta} \times \frac{La}{LR} \times K_R \\
 &= \frac{2,1}{43,7816} \times \frac{0,005}{0,03} \times 372 \\
 &= 0,47985355 \times 0,1666666 \times 372 \\
 &= 2,973850839
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_b &= \frac{\Delta TR}{\Delta Tb} \times \frac{Lb}{LR} \times K_R \\
 &= \frac{2,1}{10,17437} \times \frac{0,003}{0,03} \times 372 \\
 &= 0,206400986 \times 0,1 \times 372 \\
 &= 7,678116689
 \end{aligned}$$

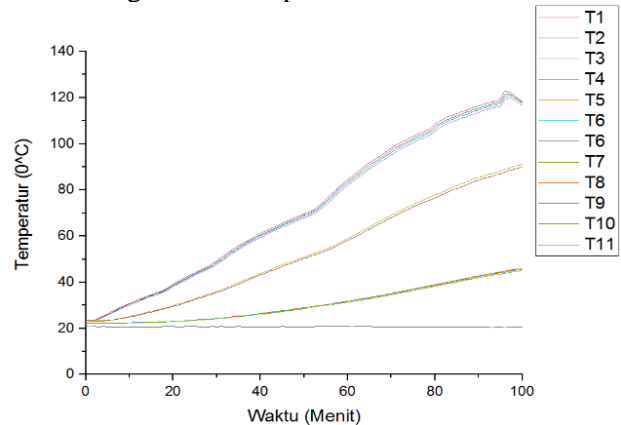
$$\begin{aligned}
 K &= \frac{\frac{Lb-La}{\frac{Lb}{Kb} - \frac{La}{Ka}}}{-0,002} \\
 &= \frac{-0,002}{0,000390720 - 0,001681321} \\
 &= \frac{-0,002}{-0,001290601}
 \end{aligned}$$

$K = 1,54966$

Berdasarkan kurva hubungan antara konduktivitas termal dengan pengulangan pengukuran stainless steel pada rentang suhu 100 °C dan 23,6 °C diperoleh:

- Referensi : 14,00 W/mK
- K : 15,14 W/mK

Grafik Pengukuran Sampel Pada Stainless



Gambar 5. Pengujian Sampel Pada Stainless (19 Desember 2020)

Hasil k dari pengukuran dari Stainless.

T_1 : 51,5

T_2 : 51,25556

T_3 : 50,87667

T_4 : 50,63389

T_5 : 41,02833

T_6 : 42,34381

T_7 : 32,16944

T_8 : 32,10611

T_9 : 31,93833

T_{10} : 31,93556

$\Delta TR = -0,38604$

$\Delta Ta = 9,60556$

$La = 0,05$

$Lr = 0,003$

$Kr = 372$

$\Delta Tb = 10,2377$

$Lb = 0,003$

$Ka = -2491730$

$Kb = -1,4027004$

$Lb - La = -0,002$

$\frac{Lb}{Kb} = -0,002138731$

$\frac{La}{Ka} = -0,002006637$

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{\Delta TR}{\Delta Ta} \times \frac{La}{LR} \times K_R \\
 &= \frac{-0,38604}{9,60556} \times \frac{0,005}{0,03} \times 372 \\
 &= -0,040189223 \times 0,1666666 \times 372 \\
 &= -2,491730
 \end{aligned}$$

$$K_b = \frac{\Delta TR}{\Delta T_b} \times \frac{L_b}{LR} \times K_R$$

$$= \frac{-0,38604}{10,2377} \times \frac{0,003}{0,03} \times 372$$

$$= -0,037707 \times 0,1 \times 372$$

$$= -1,4027004$$

$$K = \frac{L_b - L_a}{\frac{K_b}{K_b} - \frac{L_a}{K_a}}$$

$$= \frac{-0,002}{-0,002138731 - (-0,002006637)}$$

$$= \frac{-0,002}{-0,000132094}$$

$$K = 15,14037$$

$$\Delta T_{9-T_{10}} = 0,03334$$

$$\Delta T_r = 0,1100783$$

$$L_a = 2 \quad (0,002)$$

$$L_b = 4 \quad (0,004)$$

$$L_r = 30 \quad (0,03)$$

$$K_r \text{ (w/mk)} = 372$$

$$K_a = \frac{\Delta TR}{\Delta T_a} \times \frac{L_a}{LR} \times K_R$$

$$= \frac{0,1100783}{50,26977} \times \frac{0,005}{0,03} \times 372$$

$$= 0,002189751 \times 0,1666666 \times 372$$

$$= 0,135764507$$

$$K_b = \frac{\Delta TR}{\Delta T_b} \times \frac{L_b}{LR} \times K_R$$

$$= \frac{0,1100783}{6,55891} \times \frac{0,003}{0,03} \times 372$$

$$= 0,016783017 \times 0,1 \times 372$$

$$= 0,624328232$$

$$K = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{K_b} - \frac{L_a}{K_a}}$$

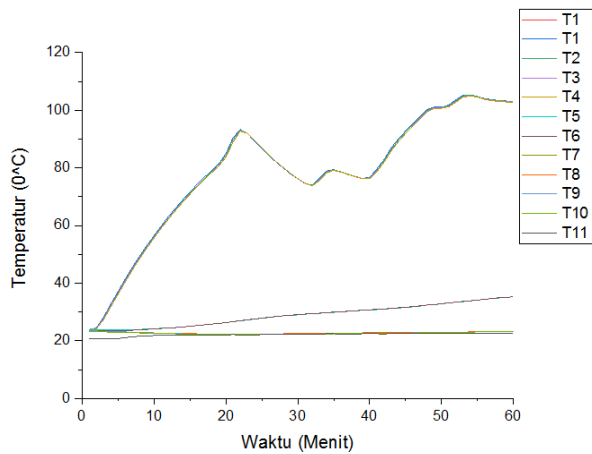
$$= \frac{0,003 - 0,005}{\frac{0,003}{0,624328232} - \frac{0,005}{0,135764507}}$$

$$= \frac{-0,002}{0,004805164 - 0,036828476}$$

$$= \frac{-0,002}{-0,032023312}$$

$$K = 0,062454501$$

Grafik Pengukuran Sampel Pada Styrofoam



Gambar 6. Pengujian Sampel Pada Styrofoam (20 Desember 2020)

Berdasarkan kurva hubungan antara konduktivitas termal dengan pengulangan pengukuran styrofoam pada rentang suhu 100 °C dan 27,6 °C diperoleh:

- Referensi : 0,095 W/mK
- K : 0,062454501 W/mK

Hasil k dari pengukuran dari Styrofoam.

$$\Delta T_{1-T_2} = 0,21473$$

$$\Delta T_{2-T_3} = 0,20931$$

$$\Delta T_r = 0,1100783$$

$$\Delta T_{3-T_4} = 0,1341$$

$$L_a = 2 \quad (0,002)$$

$$\Delta T_a (T_4 - T_5) = 50,26977 \quad (\Delta T_a)$$

$$L_b = 4 \quad (0,004)$$

$$\Delta T_b (T_6 - T_7) = 6,55891 \quad (\Delta T_b)$$

$$L_r = 30 \quad (0,03)$$

$$\Delta T_{7-T_8} = -0,00388$$

$$K_r \text{ (w/mk)} = 372$$

$$\Delta T_{8-T_9} = 0,07287$$

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Alat uji konduktivitas termal untuk mengukur konduktivitas termal material menggunakan termoelektrik TEC1-12706 12V 6A 40x40 mm dengan ketebalan antara 0,02 mm sampai 10 mm telah dirancang dengan menggunakan metode *axial heat flow* dengan standar ASTM D 5470, dan menggunakan fan DC 12V 0,15 A 80x80 mm dengan ketebalan 25mm. Dengan menggunakan daya *heater* sebesar 500 Watt 220 V 38x38 mm. Alat uji ini mampu menguji material pada suhu 100 °C.
2. Akurasi alat uji yang cukup baik di tunjukkan dengan hasil validasi pada suhu 24 °C sampai 100 °C dengan nilai selisih dari literatur di bawah 7%. Alat uji ini juga cukup presisi di tunjukkan dengan pengulangan dari lima kali pengujian menunjukkan nilai yang saling berdekatan atau standar deviasi. Sementara itu, nilai yang di dapat dari alat uji konduktivitas termal saat pengujian.
3. Hasil pengujian mendapatkan hasil konduktivitas termal pada setelah dilakukan pengukuran,

- konduktivitas termal *stainless steel* 15,14037 W/mK Referensi 14,00 W/mK, besi 80,1 W/mK Referensi 79,5 W/mK, kayu 1,54 W/mK Referensi 0,21 W/mk, karet 0,6 Referensi 0,2 W/mk, *Styrofoam* 0,062 W/mk Referensi 0,095 W/mk. Dengan demikian, diperlukan penelitian lebih lanjut pada metode pengukuran koefisien konduktivitas termal logam dengan cara transien.
4. Hasil pengujian menunjukkan hasil konduktivitas termal setelah dilakukan pengukuran, konduktivitas termal *stainless steel* 15,1037 W/mK standar 14,00 W/mK, besi 80,1 W/mK standar 79,5 W/mK, kayu 1,5 W/mK standar 0,21 W /mK. , referensi karet 0,6 0,2 W/mK, referensi polistiren 0,062 W/mK 0,095 W/mK. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut tentang cara mengukur konduktivitas termal logam dengan rata-rata transien.

DAFTAR PUSTAKA

- M. Ali and R. Kurniawan, “Kaji Eksperimental Konduktivitas Termal Isolator,” vol. 1, pp. 59–68, 2013.
- H. Kaban, “Menentukan Konduktivitas Termal Tandan Kosong Sawit dengan Polistiren (Polystyrene) sebagai Heat Flux Meter,” *J. Penelit. Sains*, vol. 12, no. 2, pp. 1–4, 2009.
- R. Endovani and A. Putra, “Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Sinter Silika Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang , Kecamatan Alam Pauh Duo , Kabupaten Solok Selatan,” *Fis. Unand*, vol. 5, no. 1, pp. 65–72, 2016.
- R. Ilham and A. Putra, “Analisis Konduktivitas Termal Endapan Sinter di Kabupaten Solok dan Solok Selatan,” *J. Fis. Unand*, vol. 7, no. 2, pp. 102–109, 2018, doi: 10.25077/jfu.7.2.102-109.2018.
- A. Setiawan, F. Faisal, and A. Sulaiman, “Kaji eksperimental pengaruh lapisan dinding dengan material es dan garam pada dinding cold box terhadap laju perpindahan panas,” *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 1, p. 9, 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i1.368.
- R. Suryani, M. Muldarisnur, and Y. Yetri, “Pengaruh Variasi Panjang Serat Ampas Tebu dan Serbuk Kulit Buah Kakao Terhadap Sifat Fisis, Mekanis, dan Konduktivitas Termal Papan Partikel,” *J. Fis. Unand*, vol. 8, no. 3, pp. 199–204, 2019, doi: 10.25077/jfu.8.3.199-204.2019.
- E. Irawati, C. Huda, and W. Kurniawan, “Pengembangan Alat Peraga Perpindahan Kalor secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi dalam Satu Set Alat berbasis Digital,” *5th Lontar Phys. Forum 2019*, pp. 86–91, 2019, [Online]. Available: <http://conference.upgris.ac.id/index.php/lpf/article/view/624/372>.
- K. Suarsana, I. M. Astika, and L. Suprpto, “KARAKTERISASI KONDUKTIVITAS TERMAL DAN KEKERASAN KOMPOSIT ALUMINIUM Matrik Penguat Hibrid SiCw/AL2O3,” *J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat.*, vol. 1, no. 2, pp. 108–116, 2018, doi: 10.24912/jmstkik.v1i2.1456.
- M. T. Ali Sabit, “EFEK SUHU PADA PROSES PENGARANGAN TERHADAP NILAI KALOR ARANG TEMPURUNG KELAPA (Coconut Shell Charcoal),” *J. Neutrino*, vol. 3, no. 2, pp. 143–152, 2012, doi: 10.18860/neu.v0i0.1647.