

PENGUJIAN KONDUKTIVITAS TERMAL MATERIAL PADAT SILINDER UNTUK KONDISI *STEADY* SATU DIMENSI MENGUNAKAN AKUISISI DATA

Bambang Yuniarto
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UNDIP

Abstrak

Pengujian ini bertujuan untuk merancang alat uji konduktivitas termal pada material silinder padat dengan pendekatan aliran panas pada keadaan tunak (*steady*) berdimensi satu serta melakukan pengujian pada material Aluminium, Baja dan Nylon. Alat uji ini menggunakan isolator yang terbuat dari kayu jati dengan ukuran 70x70x130mm, sementara sensor temperatur yang digunakan yaitu termokopel tipe T. Tegangan keluaran dari sensor linear terhadap perubahan suhu. Tegangan ini diubah bentuk sinyalnya ke digital oleh Analog to Digital Converter (ADC) untuk diteruskan ke komputer. Komputer dan perangkat lunaknya berfungsi untuk mengatur pengambilan data suhu. Nilai konduktivitas termal hasil pengujian untuk ketiga material (Aluminium, Baja dan Nylon) dibandingkan dengan data konduktivitas termal material dari literatur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal material uji mempunyai selisih dan galat yang kecil (<10%), dan mendekati dengan data konduktivitas termal dari literatur. Sehingga alat uji konduktivitas termal ini layak untuk dipergunakan.

Kata Kunci : Konduktivitas termal, kalor, *steady state*, termokopel, ADC

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Salah satu karakteristik material adalah konduktivitas termal, yaitu sifat bahan yang menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien temperturnya satu. Konduktivitas termal juga dapat menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu. Sifat ini berguna antara lain untuk rekayasa teknik, seperti dalam perencanaan, perhitungan beban pendinginan pada sistem refrigerasi dan tata udara, perencanaan alat penukar kalor, menentukan apakah sifat suatu bahan itu konduktor atau isolator dan sebagainya.

Sampai saat ini terdapat berbagai macam metode pengukuran untuk mengetahui besarnya nilai konduktivitas suatu material, pada penelitian ini akan dirancang dan direalisasikan alat ukur konduktivitas termal dengan pendekatan aliran panas pada keadaan tunak (*steady*) berdimensi satu melalui dinding komposit. Data masukannya berupa temperatur yang terukur pada material, kemudian data temperatur ini akan diolah menjadi nilai konduktivitas termal.

Tujuan Penelitian

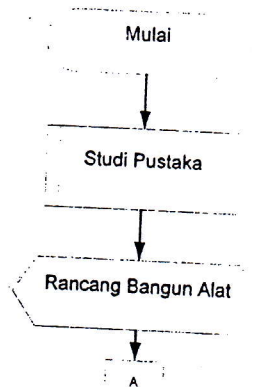
Dalam penelitian ini tujuan yang akan dicapai adalah :

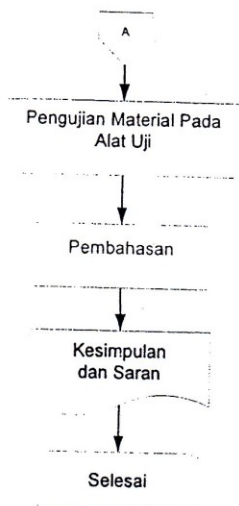
1. Membuat alat uji konduktivitas termal material padat silinder untuk kondisi *steady* satu dimensi.
2. Melakukan pengujian nilai konduktivitas termal material padat silinder berupa baja, aluminium dan nylon
3. Membandingkan hasil pengujian nilai konduktivitas termal material padat silinder berupa baja, aluminium dan nylon dengan data literatur.

Batasan Masalah

1. Pengujian dilakukan pada material berbentuk padat silinder dengan ukuran $\varnothing 25 \times 30$ mm, pada arah aksial satu dimensi.
2. Material standard yang digunakan adalah kuningan (brass) dengan nilai konduktivitas termalnya 89,7 Watt/m. $^{\circ}$ C.
3. Material uji yang digunakan adalah Aluminium, baja, dan nylon.
4. Isolasi dianggap sempurna sehingga kerugian kalor yang terjadi dapat diabaikan.
5. Tahanan kontak termal antara dinding material diabaikan dengan penambahan silicon heat transfer.

Metode Penelitian





Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

Dasar Teori

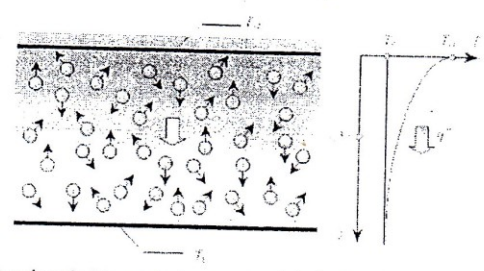
Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi yaitu perpindahan panas dimana panas mengalir dari daerah bersuhu lebih tinggi ke daerah bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair, atau gas) atau antara medium-medium berlainan yang bersinggungan secara langsung.³

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

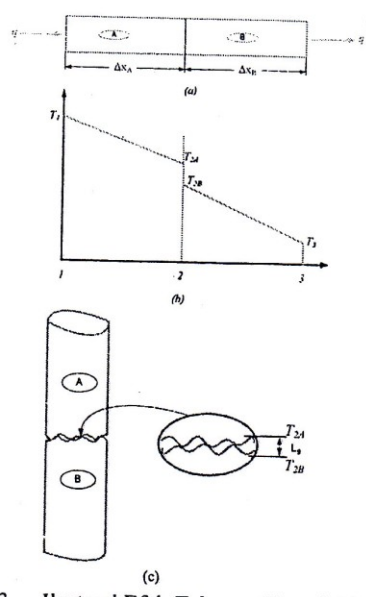
- dimana :
- = laju perpindahan kalor (Btu/h atau W)
 - = luas bidang tempat berlangsungnya perpindahan kalor (ft² atau m²)
 - = gradien atau landaian suhu (*Temperatur gradient*) dalam arah perpindahan kalor (°F/ft atau °C/m)
 - = konduktivitas termal (Btu/h.ft.°F atau W/m.°C)

Perpindahan Panas dan Persamaan Konduksi Panas
 Mekanisme fisis konduksi termal telah memberikan kesimpulan penting yang pada umumnya diperoleh oleh suatu percobaan, yaitu :
 Karena panas sebagai energi digabungkan dengan gerakan dan molekul-molekul, atom-atom dan komponen-komponennya, maka perpindahan panas konduksi secara teliti harus dikaitkan dengan gerakan-gerakan tersebut. Bila temperatur bertambah, maka akan menambah intensitas dan frekuensi gerakan molekul-molekul dan atom-atom.¹



Gambar 2. Konduksi panas melalui aktivitas atom atau molekul.⁶

Tahanan Kontak Termal



Gambar 3. Ilustrasi Efek Tahanan Kontak Thermal.
 a. Situasi fisis
 b. Profil temperatur
 c. Kekasaran sambungan pada tahanan kontak termal.¹

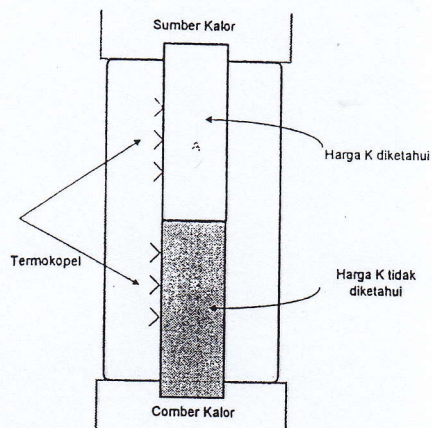
Konduktivitas kedua bahan mungkin berbeda, tetapi jika sisinya diisolasi, maka laju aliran panas yang melewati kedua bahan itu dalam keadaan *steady* akan sama.

Dua unsur pokok yang menentukan perpindahan panas pada sambungan:

1. Konduksi antara zat padat dengan zat padat pada titik-titik singgung
2. Konduksi melalui gas yang terkurung pada ruang kosong yang terbentuk pada persinggungan permukaan yang tidak halus.

Tahanan kontak termal dapat diturunkan sampai 75 % dengan menggunakan gemuk termal (*thermal grease*).¹

Koefisien Perpindahan Panas Konduksi Pada Struktur Komposit Dinding Datar



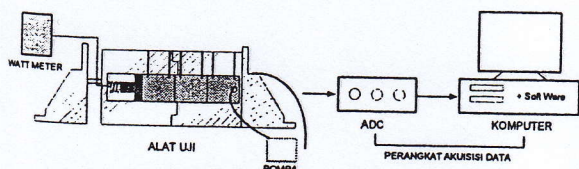
Gambar 4. Skema alat untuk Pengukuran Konduktivitas Termal.⁴

Suatu metode yang sangat sederhana untuk pengukuran konduktivitas termal logam ialah seperti yang digambarkan pada gambar 4. Sebuah batang logam A yang konduktivitas termalnya diketahui, dihubungkan dengan batang logam B yang konduktivitas termalnya akan diukur. Sebuah sumber kalor (*heat Source*) dan comber kalor (*heat sink*) dihubungkan dengan ujung batang gabungan itu, dan rakitan itu dibalut dengan bahan isolasi untuk membuat kehilangan kalor ke lingkungan minimum dan menjaga agar aliran kalor melalui batangan itu bersifat satu dimensi. Pada kedua bahan yang diketahui dan yang tidak diketahui, ditempelkan atau ditanamkan termokopel. Jika gradien suhu melalui bahan-bahan yang diketahui diukur, aliran kalor akan dapat ditentukan.⁴

$$q = -k_A A \left(\frac{dT}{dx} \right)_A = -k_B A \left(\frac{dT}{dx} \right)_B$$

3. Metodologi dan Perancangan

Gambaran Umum Alat Uji



Gambar 6. Susunan Instalasi Alat Uji

Instalasi alat pengujian yang dibuat terdiri dari beberapa peralatan yang kemudian disusun menjadi suatu sistem yang berfungsi sebagai alat pengujian nilai konduktivitas bahan, peralatan tersebut adalah :

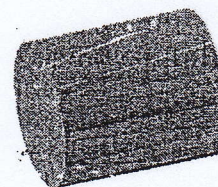
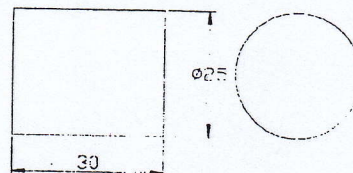
- Spesimen uji
- Isolator
- Pemanas (*Heater*)

- Perangkat akuisisi data, yang terdiri dari sensor temperatur, ADC, komputer beserta programnya.

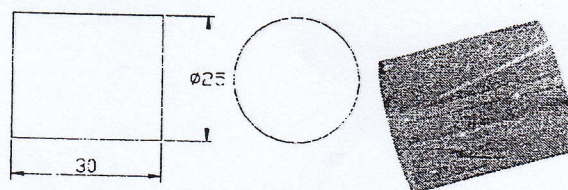
Spesimen Uji

Silinder pertama terbuat dari material kuningan dengan nilai konduktivitas termal 89,7 W/m.K.

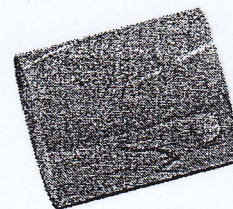
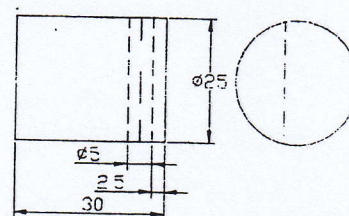
- Panjang : 30 mm
Diameter : 25 mm



Gambar 7. Bentuk dan ukuran material standard



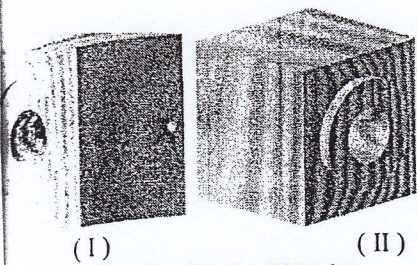
Gambar 8. Bentuk dan ukuran material uji



Gambar 9. Material silinder ketiga

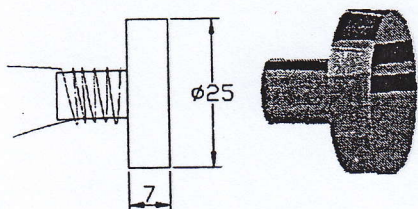
Isolator

Isolator yang digunakan pada alat uji ini terbuat dari kayu pohon jati. Isolator tersebut berbentuk balok dengan ukuran 70x70x130 mm.



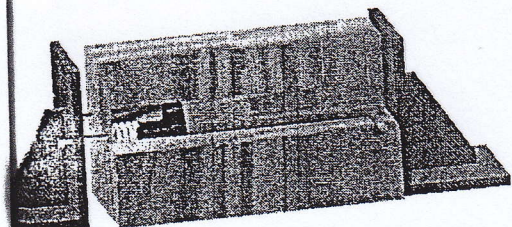
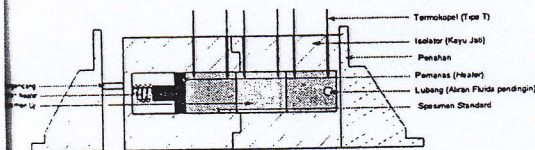
Gambar 10. Profil Isolator

Pemanas yang digunakan dibuat dari lilitan kawat pemanas (nikelin) dengan diameter 0.15 mm, yang dibungkus dengan silinder aluminium



Gambar 11. Pemanas (Heater)

Konstruksi Alat Uji



Gambar 12. Konstruksi Alat Uji

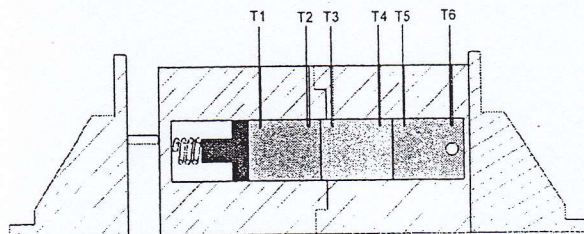
Perangkat Akuisisi Data

Perangkat pengambilan data dalam berbagai percobaan dapat dilakukan oleh komputer, proses ini dilakukan sebagai proses akuisisi data. Perangkat ini terdiri dari:

- Sensor Temperatur
- Analog Digital Converter (ADC)
- Komputer
- Perangkat Lunak (Software)

Sensor Temperatur

Sensor temperatur yang digunakan yaitu berupa termokopel dimana masing-masing spesimen menggunakan dua termokopel. Termokopel yang digunakan yaitu tipe T. Jarak antar termokopel dalam spesimen 20mm



Gambar 13. Letak Termokopel

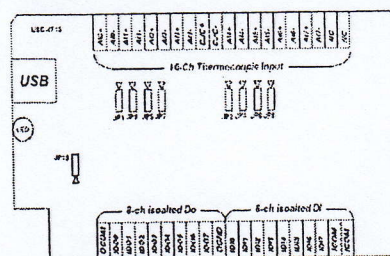
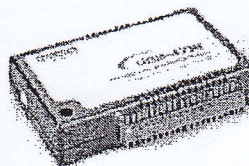
Analog to Digital Converter (ADC)

ADC yang digunakan yaitu produk dari Advantech (USB-4718) yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- 8 differential thermocouple input channels
- Resolusi 16 bit
- Input arus 4~20mA
- Bus-powered
- Indikator LED
- Laju sampel 10Hz
- Tipe termokopel yang dapat digunakan : J, K, T, E, R, S, B

USB-4718

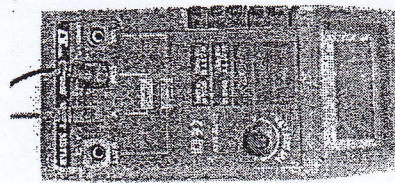
NEW



Gambar. 14. Perangkat Akuisisi Data

Watt Meter

Pada saat pengujian, daya heater diatur dengan menggunakan regulator. Oleh karena itu, diperlukan instrumen untuk mengetahui besarnya daya tersebut. Instrumen yang digunakan yaitu Watt meter (Lutron, DW-6060).



Gambar 15. Watt Meter

Prosedur Pengukuran

Prosedur pengukuran nilai konduktivitas termal material pada alat uji ini adalah sebagai berikut :

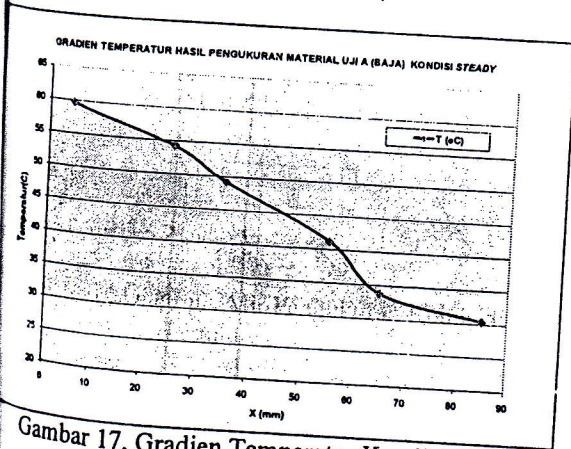


Gambar. 16. Diagram Alir Pengukuran Konduktivitas Termal

4. Hasil dan Pembahasan

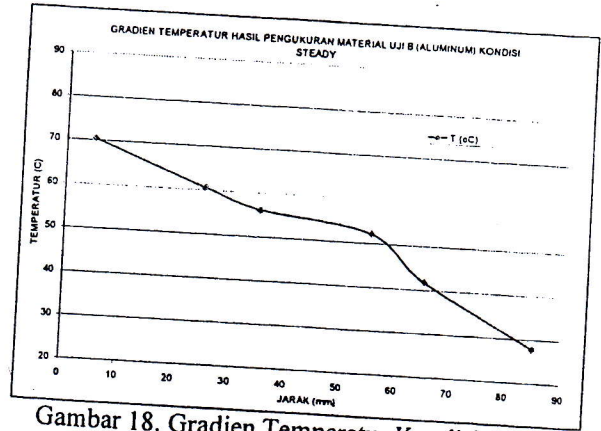
Pengukuran Temperatur dan Konduktivitas Termal Material Uji

Pengukuran Material Uji A (Baja)



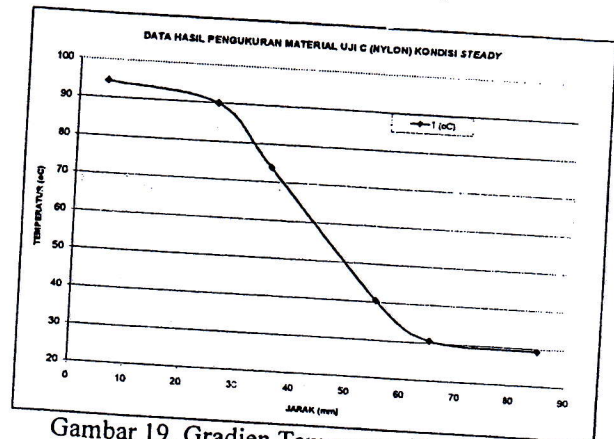
Gambar 17. Gradien Temperatur Kondisi steady material Uji A

Pengukuran Material Uji B (Aluminum)



Gambar 18. Gradien Temperatur Kondisi steady material Uji B (Aluminum)

Pengukuran Material Uji C (Nylon)



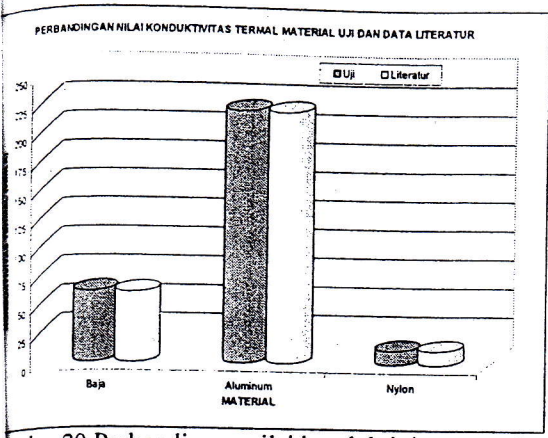
Gambar 19. Gradien Temperatur Kondisi steady material Uji C

Analisa Hasil Pengukuran Konduktivitas Termal

Konduktivitas Termal Material Uji

Tabel 1. Perbandingan k_{uji} dengan $k_{literatur}$

| Material | k_{uji} (W/m.°C) | k (W/m.°C) | ϵ_t (%) | Keseksamaan (%) |
|----------|--------------------|--------------|------------------|-----------------|
| A | 61,27070 | 60,5 | 1,27 | 98,73 |
| B | 219,05160 | 218 | 0,48 | 99,52 |
| C | 12,04117 | 11,9974 | 0,36 | 99,64 |



Gambar 20. Perbandingan nilai konduktivitas termal material uji dan data literatur

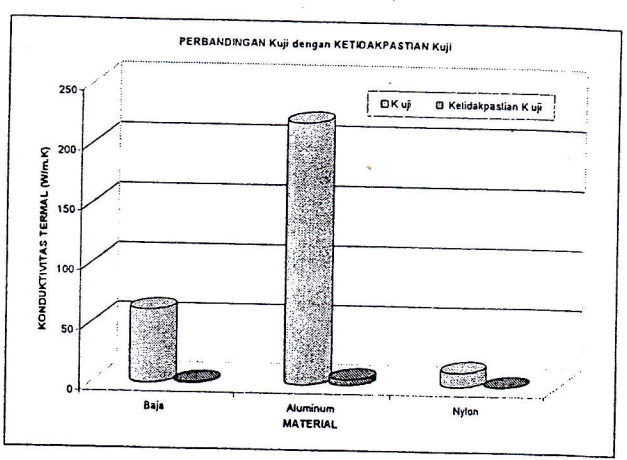
Dari tabel 1 dan gambar 23. dapat diketahui data konduktivitas termal hasil pengujian. Pada material uji A (baja) menunjukkan konduktivitas termal sebesar 61,27070 W/m.K sedangkan data yang diperoleh dari literatur sebesar 60,5 W/m.K. Pada material uji B (Aluminum) menunjukkan konduktivitas sebesar 219,05160 W/m.K sedangkan data yang diperoleh dari literatur sebesar 218 W/m.K. Pada material uji C (Nylon) menunjukkan konduktivitas sebesar 12,04117 W/m.K sedangkan data yang diperoleh dari literatur sebesar 11,9974 W/m.K. Dari pengujian untuk ketiga material uji diatas menunjukkan selisih yang relatif kecil dengan data yang diperoleh dari literatur. Hal tersebut didukung dengan prosentase galat (kesalahan) yang kecil yaitu kurang dari 10% serta prosentase kesamaan lebih dari 98%, sehingga data nilai konduktivitas termal untuk ketiga material uji sebanding dengan data yang diperoleh dari literatur. Data di atas terlihat juga bahwa nilai konduktivitas termal paling tinggi terdapat pada aluminum kemudian baja dan nylon. Hal tersebut menunjukkan bahwa aluminum mempunyai sifat hantar panas yang paling baik dari material uji lainnya sedangkan nylon mempunyai sifat hantar panas yang paling buruk di antara ketiga material uji tersebut.

Ketidakpastian Hasil Pengukuran Material uji

$$\left\{ \left(\frac{\partial K_{uji}}{\partial T_1} \right)^2 (w_{T_1})^2 + \left(\frac{\partial K_{uji}}{\partial T_2} \right)^2 (w_{T_2})^2 + \left(\frac{\partial K_{uji}}{\partial T_3} \right)^2 (w_{T_3})^2 + \left(\frac{\partial K_{uji}}{\partial T_4} \right)^2 (w_{T_4})^2 \right\}^{1/2}$$

2. Ketidakpastian Konduktivitas Termal Material uji

| MATERIAL | Δk_{uji} (± W/m.°C) | Prosentase ketidakpastian (%) |
|----------|-----------------------------|-------------------------------|
| Baja | 1,09605 | 1,81 |
| Aluminum | 5,06678 | 2,31 |
| Nylon | 0,29287 | 2,43 |



Gambar 21. Perbandingan K_{uji} dengan Ketidakpastian K_{uji}

Ditinjau dari ketidakpastian hasil pengujian konduktivitas, tabel 2. dan gambar 24. menunjukkan nilai ketidakpastian untuk setiap material uji disertai dengan prosentasenya. Pada material uji A (baja) diperoleh ketidakpastian sebesar 1,09605 W/m.K, pada material uji B (aluminum) diperoleh ketidakpastian sebesar 5,06678 W/m.K dan pada material uji C (nylon) diperoleh ketidakpastian sebesar 0,29287 W/m.K. Jika kita bandingkan dengan nilai konduktivitas termal material uji dari hasil pengukuran maka akan diperoleh prosentase ketidakpastian. Prosentase paling kecil terdapat pada material uji A (baja) yaitu sebesar 1,81% sedangkan prosentase ketidakpastian paling besar terdapat pada material uji C (nylon). Namun demikian, besarnya prosentase ketidakpastian untuk ketiga material uji tersebut masih dibawah 10% (<10%).

5. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan pengambilan data disertai dengan analisa pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai konduktivitas termal dari hasil pengujian untuk ketiga material uji diperoleh sebagai berikut :
 - Material Uji A (Baja) : 61,27070 W/m.°C
 - Material Uji B (Al) : 219,05160 W/m.°C
 - Material Uji C (Nylon) : 12,04117 W/m.°C
2. Nilai konduktivitas termal dari data literatur untuk ketiga material uji diperoleh sebagai berikut :
 - Material Uji A (Baja) : 60,5 W/m.°C
 - Material Uji B (Aluminum) : 218 W/m.°C
 - Material Uji C (Nylon) : 11,9974 W/m.°C
3. Analisa galat hasil pengukuran nilai konduktivitas termal terhadap data literatur menunjukkan pada kisaran lebih kecil dari 10% (<10%) dengan prosentase keseksamaan lebih besar dari 98% (>98%)

4. Analisa ketidakpastian data hasil pengukuran nilai konduktivitas termal material uji menunjukkan prosentase pada kisaran lebih kecil dari 10%(<10%).

DAFTAR PUSTAKA

1. Holman, J.P. "*Perpindahan Kalor*". Edisi kelima. Erlangga. Jakarta. 1988
2. Ozisik, M.N. "*Heat Conduction*". 2nd Edition. John Wiley and Sons. 1993
3. Kreith, Frank. "*Principles of Heat Transfer*". 3th Edition, Harper & Row. Publisher Inc., University of Colorado, USA, 1973.
4. Holman, J.P. "*Metode Pengukuran Teknik*". Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta. 1985
5. Mc. Adams, William. "*Heat Transmission*". 3rd Edition. McGraw-Hill. 1958
6. Incropera, F.P. "*Fundamentals of Heat Transfer*". School of Mechanics Engineering Purdue University. Jhon Wiley & Sons. 1981
7. Link, W. "*Pengukuran, Pengendalian dan Pengaturan dengan PC*". Elex Media Komputindo. Jakarta. 1989
8. www.Matweb.com