

**RANCANGBANGUN ALAT PENGUKUR
KONDUKTIVITAS TERMAL MATERIAL PADAT
DENGAN MENGGUNAKAN KOMPUTER SEBAGAI
ALAT BANTU.**



Oleh:

Ir. Suditama MT
NIP: 131 932 491

Dosen Kopertis Wilayah - I
DPK. Pada Universitas Medan Area
2003

**RANCANGBANGUN ALAT PENGUKUR
KONDUKTIVITAS TERMAL MATERIAL PADAT
DENGAN MENGGUNAKAN KOMPUTER SEBAGAI
ALAT BANTU.**



Oleh:

Ir. Suditama MT
NIP: 131 932 491

**Dosen Kopertis Wilayah - I
DPK. Pada Universitas Medan Area
2003**

**RANCANBANGUN ALAT PENGUKUR
KONDUKTIVITAS TERMAL MATERIAL PADAT
DENGAN MENGGUNAKAN KOMPUTER SEBAGAI
ALAT BANTU.**

**Medan, Agustus 2003
Peneliti/Penulis**



**Ir. Suditama MT
NIP: 131 932 491**

**Mengetahui/Menyetujui
Ketua Lembaga Penelitian**



**Ir. Sutahar Hutapea MS.
NIP:**

**Dosen Kopertis Wilayah - I
DPK. Pada Universitas Medan Area
2003**

ABSTRAK

Secara umumnya perpindahan panas adalah satu proses di mana panas berpindah dari satu benda ke benda yang lain akibat dari perbedaan suhu melalui sinaran, hantaran ataupun secara aliran. Dalam kata lain, jika terdapat perbedaan suhu yang antara dua benda maka terjadilah perpindahan panas di mana panas dari benda yang panas akan berpindah ke benda yang dingin.

Dengan pembuatan alat pengukur konduktivitas termal ini adalah untuk mengetahui konduktivitas termal (k), yang terjadi sewaktu proses perpindahan panas pada perbedaan suhu tertentu dengan menggunakan metode perpindahan panas secara aliran.

Sampel atau bahan yang akan diukur diletakkan bersama-sama dengan aluminium yang digunakan sebagai bahan referensi ke dalam badan yang dibuat dari prospek plastik. Kedua-dua bahan ini kemudiannya dipasang dengan termokopel yang berfungsi sebagai alat pengukur suhu semasa eksperimen.

Dengan menggunakan metode pemanasan satu dimensi, eksperimen ini dilaksanakan pada range suhu antara 300 K hingga 400 K untuk setiap bahan yang hendak diukur dan hasilnya dibandingkan dengan nilai standar bahan. Nilai akhir eksperimen menghampiri nilai standar bahan yang ada di pasaran.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan izin Allah S.W.T. Akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini sesuai dengan kondisi dan kemampuan serta batasan waktu yang ada. Penelitian ini dilaksanakan sebagai salah satu perwujudan TRI DARMA PERGURUAN TINGGI bagi staf pengajar dilingkungan Kopertis Wilayah-I umumnya dan pada staf pengajar di Fakultas Teknik UMA Khususnya.

Secara umumnya perpindahan panas didefinisikan sebagai satu proses dimana panas berpindah dari satu benda ke benda yang lain akibat dari perbedaan suhu melalui sinaran, hantaran ataupun aliaran. Dalam kata lain, jika terdapat perbedaan suhu yang dua jasad, maka terjadilah perpindahan panas di mana panas dari benda yang panas akan berpindah ke benda yang dingin.

Dengan ini, pembuatan alat pengukur konduktivitas termal adalah untuk mengetahui nilai konduktivitas termal (k), yang terjadi sewaktu proses perpindahan panas perbedaan suhu tertentu dengan menggunakan metode perpindahan panas secara aliran (konduksi).

Akhirnya penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak kekurangannya, meskipun demikian kami mengharapkan hasil penelitian (tulisan ini) ini dapat memberikan sumbangan untuk pengembangan ilmu dan teknologi.

Medan, Agustus 2003

Peneliti

Ir. Suditama MT.

NIP: 131 932 491

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Tujuan Penelitian	2
1.2 Pembatasan Masalah	2
1.3 Penjelasan Masalah	3
BAB II Tinjauan Pustaka	4
2.1 Konduktivitas Termal Bahan	4
2.2 Termokopel (Thermocouple)	7
2.2.1 Ukuran Termokopel	8
2.2.2 Panjang Termokopel	9
2.2.3 Lokasi	9
2.2.4 Jenis-jenis Termokopel	9
2.3 Badan Alat Ukur	10

2.4	Isolator Panas	11
2.5	Pemanas	11
2.6	Bahan Eksperimen	11
2.6.1	Baja Tahan Karat	12
2.6.2	Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel)	12
2.6.3	Baja Perkakas (Tool Steel)	12
2.7	Bahan Referensi (Acuan)	13
BAB III	METODOLOGI	15
3.1	Proses Rancangbangun	15
3.1.1	Analisis Fungsi Peralatan	15
3.2	Pertimbangan Rancangbangun	16
3.3	Morfologi dan Pelaksanaan Ide	18
3.4	Gabungan Ide untuk Pembuatan Konsep	18
3.5	Penilaian Setiap Konsep	19
3.6	Sketsa Penilaian Ide	19
3.7	Spesifikasi Rancangbangun	22
3.7.1	Badan	22
3.7.2	Keselamatan	22
3.7.3	Ergonomik	23
3.8	Metode Penyelesaian	23

BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1	Pengujian Alat Pengukur Konduktivitas Termal	25
4.2	Prosedur Eksperimen	25
4.3	Hasil Eksperimen	30
4.4	Pembahasan Hasil Eksperimen Konduktivitas Termal Bahan	36
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA		39

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 - Jenis-jenis termokopel	9
Tabel 2.2 Sifat-sifat aluminium	13
Tabel 3.1 Morfologi menggabungkan fungsi-fungsi utama	18
Tabel 3.2 Beberapa konsep yang dihasilkan	18
Tabel 3.3 Kriteria penilaian konsep ide	19
Tabel 4.1 Hasil eksperimen baja perkakas	27
Tabel 4.2 Hasil eksperimen baja tahan karat	28
Tabel 4.3 Hasil eksperimen baja karbon rendah	29
Tabel 4.4 Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk baja perkakas	31
Tabel 4.5 Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk baja tahan karat	33
Tabel 4.6 Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk baja karbon rendah	35

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 2.1	Arah perpindahan panas 1-dimensi	5
Gambar 2.2	Grafik konduktivitas termal beberapa bahan padat	6
Gambar 2.3	Grafik konduktivitas termal beberapa bahan padat fungsi suhu	7
Gambar 2.4	Prinsip Seeback	8
Gambar 2.5	Grafik suhu pengukuran maksimum untuk setiap jenis termokopel	10
Gambar 3.1	Proses rancangbangun	15
Gambar 3.2	Diagram alir rancangbangun	17
Gambar 3.3	Rancangan bentuk bahan rujukan	21
Gambar 3.4	Rancangan bentuk bahan eksperimen	21
Gambar 3.5	Rancangan badan alat konduktivitas termal	22
Gambar 3.6	Antarmuka 2 dinding padat	23
Gambar 4.1	Grafik perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan baja perkakas	32
Gambar 4.2	Grafik perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan baja tahan karat	34
Gambar 4.3	Grafik perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan baja karbon rendah	36

DAFTAR NOTASI

A	-	Luas
h_i	-	Koefesien perpindahan panas konveksi bagian dalam
k	-	Konduktivitas termal
k_e	-	Konduktivitas termal komponen listrik
k_i	-	Konduktivitas termal komponen lattice
$\frac{dT}{dx}$	-	Perubahan suhu terhadap perubahan jarak
\dot{Q}	-	Fluks perpindahan panas
T_2	-	Suhu udara panas
T_1	-	Suhu udara dingin

BAB I

PENDAHULUAN

Perpindahan panas konduksi penting dalam konteks untuk mengevaluasi perpindahan panas yang melalui suatu medium pada seunit luas. Selain itu dengan mengetahui nilai konduktivitas termal bahan (material) dapat mengklasifikasikan bahan-bahan kepada dua jenis, penghantar atau isolator panas.

Konduktivitas termal bahan (k) adalah bergantung kepada jenis-jenis bahan. Semakin tinggi nilai k , semakin baik penghantaran panas secara konduksi. Bahan-bahan yang mempunyai nilai keberaliran haba yang rendah, merupakan penghantar panas yang kurang baik, ini dikenali sebagai isolator. Pada perpindahan panas secara konduksi, nilai k dapat ditentukan dengan menggunakan **Hukum Fourier**. Hukum ini ditemui oleh Jean Baptise Joseph Fourier pada tahun 1882. Menurutnya, laju perpindahan panas bagi seunit luas suatu bahan adalah berbanding lurus dengan negatif gradienn suhu suatu benda tersebut. Untuk mengevaluasi perpindahan panas secara konduksi nilai k bahan referensi mesti diketahui. Nilai bahan referensi ini yang akan mengevaluasi laju tenaga yang dihantar melalui proses konduksi. Akan tetapi nilai k bergantung juga pada struktur fisik, atom dan molekul bagi suatu bahan.

Perancangan ini adalah untuk menghasilkan sebuah alat yang berguna dan mampu menentukan konduksi termal bahan-bahan padat yang terjadi sewaktu proses perpindahan panas. Sasaran untuk perancangan ini adalah untuk menghasilkan konsep rancangbangun dan cara yang efektif untuk menentukan nilai konduktivitas termal bahan-bahan yang akan diukur.

Hasil pengukuran dengan menggunakan alat yang akan dibangun ini adalah menghampiri atau sama dengan nilai standar dari bahan-bahan yang ada di pasaran.

1.1 Tujuan Penelitian

- Menghasilkan sebuah alat yang dapat mengukur nilai konduktivitas termal bahan padat hasil akhir pengukuran diharapkan menyamai atau mendekati nilai standar.

1.2 Pembatasan Masalah

- Tinjauan pustaka masalah konduktivitas termal material (bahan) padat
- Rancangbangun alat konduktivitas termal material padat
- Eksperiment untuk mengetahui nilai konduktivitas termal dari beberapa material padat dengan menggunakan alat yang telah dibangun dan membandingkan hasilnya dengan nilai konduktivitas termal material yang ada di pasaran.

1.3 Penjelasan Masalah.

Pembuatan alat ukur konduktivitas termal material padat ini dibantu dengan menggunakan komputer, maka rancangbangunnya harus sesuai dari segi bentuk, ukuran berat dan mudah untuk dioperasikan. Panas yang mengalir harus mengarah pada satu arah (satu dimensi) saja, maka diperlukan isolator panas yang baik agar tidak terjadinya kehilangan tenaga panas kearah yang lain.

Panas yang dihasilkan oleh pemanas (heater) dianggap seragam (isotermal) pada saat waktu tertentu atau sewaktu eksperimen dilaksanakan.

Bahan untuk badan alat ini harus mempunyai konduktivitas termal yang rendah agar menghasilkan alat ukur yang lebih teliti dan tepat. Ukuran dan posisi termokopel pada alat dibuat sebaik mungkin.

BAB II



TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konduktivitas Termal Bahan

Konduktivitas termal bahan adalah perpindahan panas secara konduksi bagi suatu bahan per unit luas, untuk suatu waktu tertentu dengan gradien suhu dan pada jarak tertentu, unit SI nya ialah W/m.K. Konduktivitas termal dapat menentukan tenaga angkut di dalam bahan padat. Bahan padat mengandung elektron-elektron bebas dan batas atom dalam susunan periodiknya yang dikenali sebagai lattice. Lattice ialah susunan atom berdasarkan kepada titik persinggahan dari garisan jaringan dalam koordinat tiga dimensi di dalam kristal bahan (crystalline). Perpindahan tenaga termal terjadi disebabkan dua sebab, diantaranya ialah pergerakan elektron-elektron bebas dan akibat oleh getaran gelombang lattice, efeknya akan menyebabkan perpindahan panas secara konduksi (k), k ialah jumlah komponen listrik (k_e) dan komponen lattice (k_l), yaitu $k = k_e + k_l$, diprediksi k_e adalah berbanding terbalik dengan tahanan listrik. Bahan besi asli (Fe), mempunyai nilai tahanan listrik yang kecil menyebabkan nilai k_e lebih besar daripada nilai k_l nya. Bahan padat bukan logam (nonmetal) nilai konduktivitas termal (k) ditentukan oleh k_l lebih dominan yang bergantung kepada interaksi frekuensi antara atom dan *lattice*.

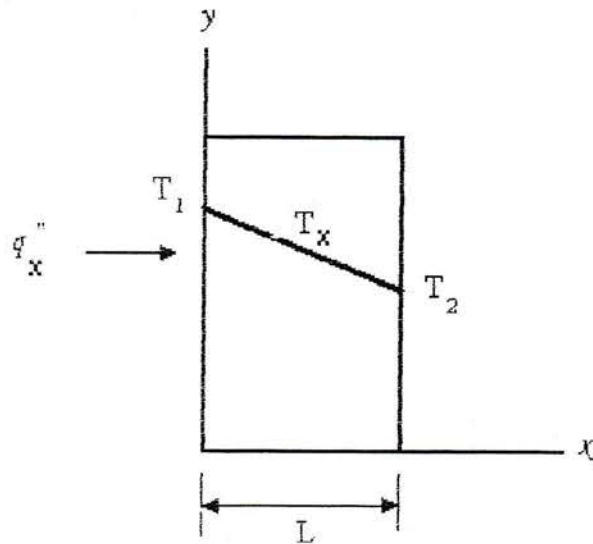
Hukum Fourier adalah:

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Tanda negatif bermakna arah perpindahan panas dari permukaan suhu tinggi kepada suhu yang lebih rendah. Hukum Fourier juga didapati arah perpindahan panas hanya dalam arah 1-dimensi dan konduktivitas termal dapat dinyatakan sebagai:

$$k_x = -\frac{q_x}{(\partial T / \partial x)} \quad (2.2)$$

Rumus diatas juga dapat digunakan untuk arah y dan z juga pada koordinat tiga dimensi, dimana: $k_x = k_y = k_z = k$, untuk bahan isotropik konduktivitas termal tidak bergantung kepada arah x, y dan z (bebas kesegala arah).



Gambar 2.1: Arah perpindahan panas 1-dimensi

Gambar di atas menunjukkan perpindahan panas satu dimensi dalam keadaan mantap (steady), gradient suhu dapat ditulis sebagai:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.3)$$

dan untuk fluks panas ialah :

$$q_x = -k \frac{T_2 - T_1}{x} \quad (2.4)$$

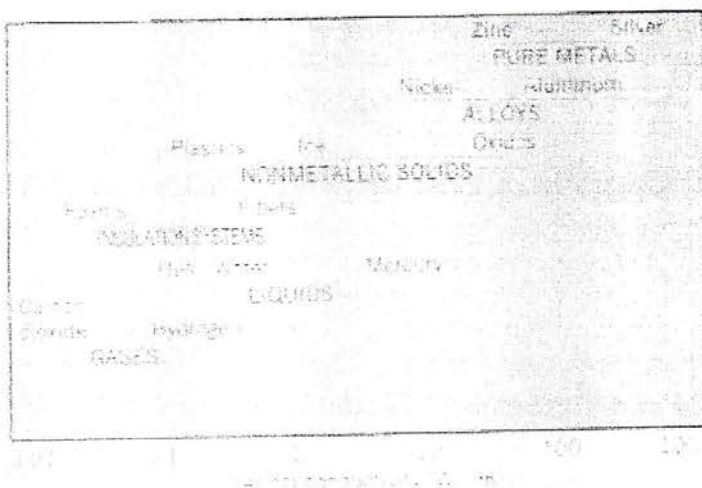
dimana:

T_2 = suhu permukaan dingin

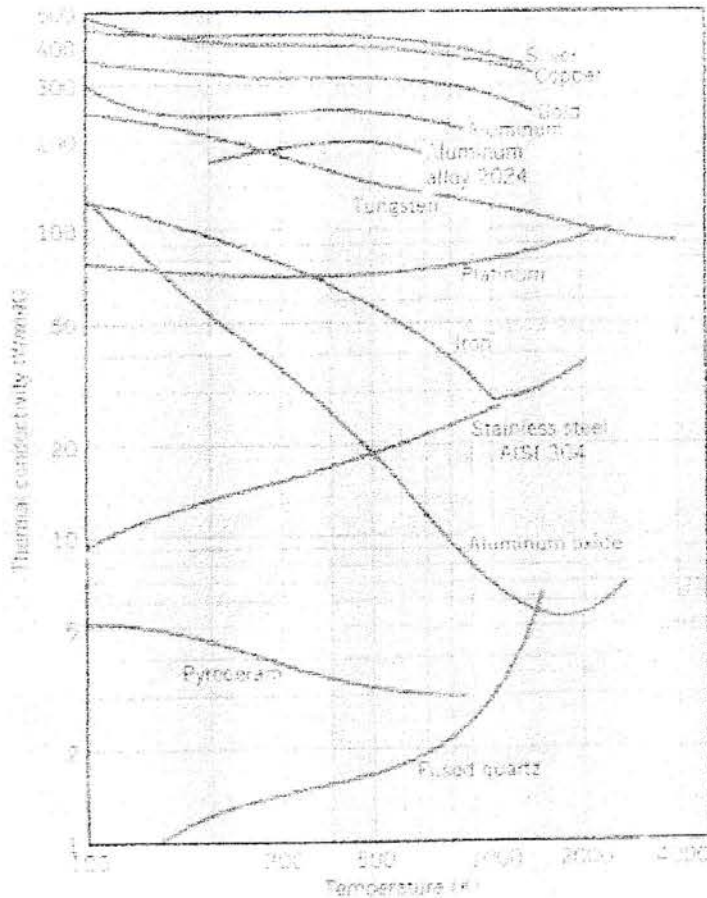
T_1 = suhu permukaan panas

Persamaan di atas adalah persamaan perpindahan panas untuk melalui satu unit luas pada arah 1-dimensi.

Umumnya konduktivitas termal bahan padat lebih besar dibanding dengan konduktivitas termal bahan gas dan cairan. Pada gambar 2.2 di bawah, dapat dilihat nilai beberapa bahan padat, cair dan gas. Nilai konduktivitas termal bahan padat lebih besar dibanding bahan cair dan gas, ini karena perbedaan yang jelas dalam intermolecular spacing bagi kedua unsur-unsurnya.



Gambar 2.2: Grafik konduktivitas termal beberapa bahan padat



(b)

Gambar 2.3: Grafik konduktivitas termal beberapa bahan padat fungsi suhu

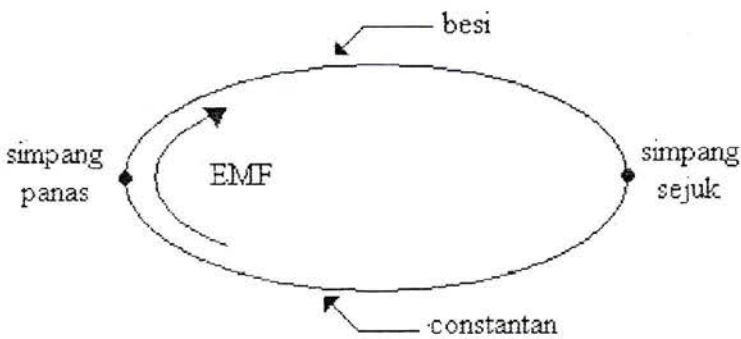
2.2 Termokopel (Thermocouple)

Termokopel diperlukan dalam eksperimen ini, kerana berfungsi sebagai transduser untuk disambungkan dengan antarmuka (interface) yang ada pada komputer. Secara umum, termokopel menggunakan prinsip Seebeck, di mana apabila dua wayar berlainan jenis disambung menjadi satu sirkuit tertutup (Gambar 2.3). Arus listrik akan mengalir apabila terjadi perbedaan tegangan ini disebabkan karena perbedaan tahanan listrik dari kedua bahan termokopel. Salah satu titik (ujung) wayar yang dikenali sebagai sensor diletakkan diatas

bahan yang hendak diukur dan titik (ujung) yang lain disambung melalui antarmuka dengan komputer. Penghasilan daya gerak listrik (GGL) adalah seperti di bawah:

$$V = c(T_1 - T_2) + k(T_1^2 - T_2^2); \quad (2.5)$$

dimana: c dan k ialah konstanta dan T_1 dan T_2 ialah suhu di titik panas dan dingin.



Gambar 2.4: Prinsip Seeback

Pada umumnya termokopel yang akan digunakan pada peralatan mesin atau industri dipilih berdasarkan keperluannya, berikut ada beberapa kriteria yang perlu untuk pemilihan termokopel.

2.2.1 Ukuran Termokopel

Pemilihan ukuran wayar termokopel yang sesuai sangat penting dan bergantung kepada penggunaannya. Untuk operasi yang bersuhu tinggi dan memerlukan ketahanan yang lama, termokopel berukuran besar adalah menjadi pilihan, jika mempertimbangkan sifat sensitivnya, termokopel berukuran kecil amat sesuai.

2.2.1 Panjang Termokopel

Panas yang dikeluarkan oleh unit pemanas dirancang agar tidak mempengaruhi kepada sistem pengukuran (komputer), maka termokopel dirancang mempunyai panjang yang sesuai, dibalut isolator panas yang memadai.

2.2.3 Lokasi

Peralatan pengukur konduktivitas termal bahan diletakkan di antara sistem pengukuran dan sumber panas. Jaraknya lebih kurang satu per tiga jarak dari benda yang hendak diukur dan sumber panas.

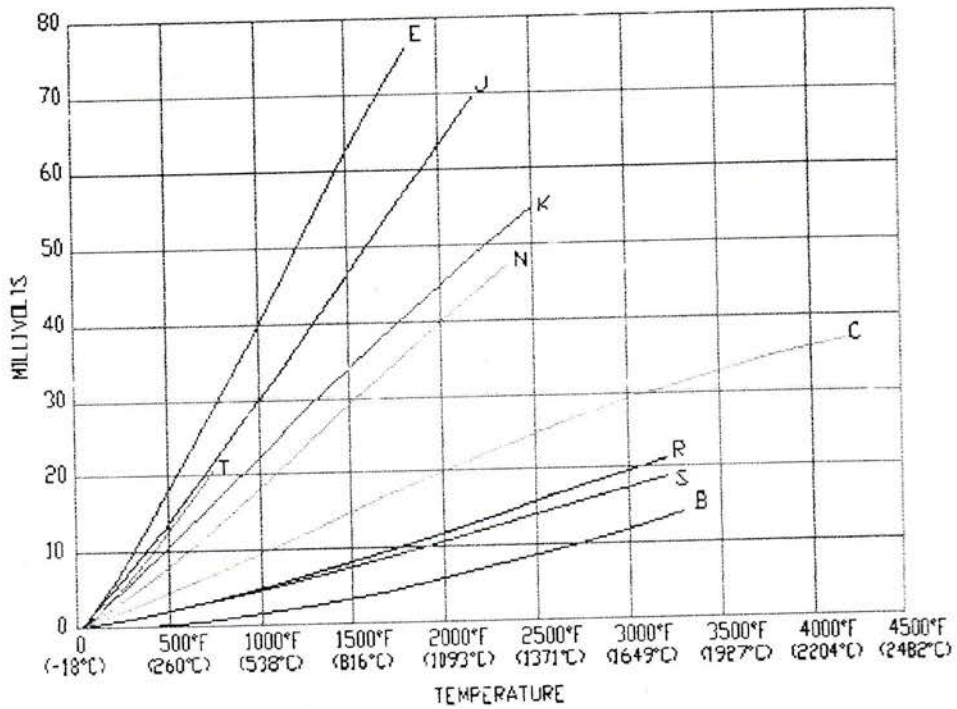
2.2.4 Jenis-jenis Termokopel

Termokopel terdiri dari beberapa jenis, jenis-jenis ini bergantung kepada kesesuaian dengan bahan dan suhu yang akan diukur. Tabel 2.1 menunjukkan jenis-jenis termokopel yang ada di pasaran dan biasa digunakan dalam laboratorium dan industri-industri.

Tabel 2.1: Jenis-jenis termokopel yang ada di pasaran

Jenis Termokopel	Nama Bahan	Range Suhu
B	Platinum 30% Rhodium (+)	2500 – 3100F
	Platinum 6% Rhodium (-)	1370-1700C
C	W5Re Tungsten 5% Rhenium (+)	3000-4200F
	W26Re Tungsten 26% Rhenium (-)	1650-2315C
E	Chromel (+)	200-1650F
	Constantan (-)	95-900C
J	Iron (+)	200-1400F
	Constantan (-)	95-760C

K	Chromel (+)	200-2300F
	Alumel (-)	95-1260C
N	Nicrosil (+)	1200-2300F
	Nisil (-)	650-1260C
R	Platinum 13% Rhodium (+)	1600-2640F
	Platinum (-)	870-1450C
S	Platinum 10% Rhodium (+)	1800-2640F
	Platinum (-)	980-1450C
T	Copper (+)	-330-660F
	Constantan (-)	-200-350C



Gambar 2.4: Grafik suhu pengukuran maksimum untuk setiap jenis termokopel

2.3 Badan Alat Ukur

Bahan yang digunakan untuk badan alat ukur mestilah mempunyai nilai konduktivitas termal yang rendah, agar dapat memastikan dalam pelaksanaan eksperimen dilaksanakan tidak terdapat ralat disebabkan oleh panas yang diberikan oleh pemanas, panas tidak mengalir menembusi badan alat ukur. Untuk projek ini, prospek plastik akan digunakan untuk badan alat ukur, kerana nilai konduktivitas termalnya rendah iaitu $< 0.2 \text{ W/m.K}$.

2.4 Isolator Panas

Perancangan awal projek ini ialah fiber menjadi pilihan untuk bahan isolator. Karena pemakaian asbestos sebagai bahan isolator tidak sesuai dengan kesehatan. Fiber berperanan menahan panas yang dikeluarkan oleh pemanas (heater) yang kan mengalir ke arah yang tidak diingini. Pelaksanaan ini untuk memastikan panas hanya mengalir arah 1-dimensi saja (keatas). Pemilihan fiber berdasarkan nilai k yang kecil, 0.151 W/mk .

2.5 Pemanas

Pemanas (heater) yang digunakan untuk membangkitkan panas agar terjadinya perpindahan panas. Panas akan dialirkan pada suhu yang ditetapkan untuk eksperimen ini. Mempertimbangkan eksperimen ini memerlukan pemanas yang permukaan rata, maka pemanas jenis permukaan rata (flat surface heater) merupakan pilihan yang terbaik.

2.6 Bahan eksperimen

Bahan-bahan yang akan diukur konduktivitas termalnya dipilih berdasarkan penggunaannya yang meluas dalam sektor industri dan pembangunan, bahan-bahan tersebut ialah:

- i. Baja Tahan Karat (Stainless steel)
- ii. Baja Karbon Rendah (Low carbon steel)
- iii. Baja Perkakas (Tool Steel)

2.6.1 Baja Tahan Karat (Stainless steel)

Spesifikasi bahan Baja Tahan Karat (Stainless steel) yang digunakan adalah:

Jenis	: Martensitic stainless steel
Komposisi kimia	: Fe-Cr alloying mengandungi 12 hingga 17% Cr, dengan kandungan carbon (0.15-1.0% C)
Kekerasan	: 156-197 HB
Konduktivitas termal	: 15.1 W/mK, pada 300 K
Kegunaan	: Digunakan untuk katup, poros pompa dan komponen-komponen mesin.

2.6.2 Baja Karbon Rendah (Low carbon steel)

Spesifikasi bahan Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel) yang digunakan adalah:

Jenis	: Steel
Komposisi kimia	: Mengandungi 0.25 % carbon, Mng (1.00 %), Vn (0.5%)
Konduktivitas termal	: 50 W/mK, pada 300 K
Kegunaan	: Digunakan untuk pembuatan lembaran, pembangunan.

2.6.3 Baja Perkakas (Tool steel)

Jenis : DF 3 (AISI 01)

Komposisi kimia : C (0.9 %), Mng (1.20 %), Chr (0.85 %), Vanadium (0.55 %)

Konduktivitas termal : 32 W/mK, pada 300 K

Kegunaan : Digunakan untuk penggunaan alat permesinan yang memerlukan ketepatan tinggi, dan sesuai untuk buat cetakan.

Kekerasan : 190 HB

2.7 Bahan Referensi (Acuan)

Aluminium merupakan salah satu logam bukan ferum yang banyak digunakan dalam berbagai industri. Aluminium yang prosentasi tinggi (99.5% aluminium atau lebih) adalah relatif lembut dan banyak digunakan sebagai pelapis tahan korosi, untuk tangki dan kegunaan lain dalam industri makanan dan industri kimia.

Tabel 2.2: Sifat-sifat Aluminium

Ciri-ciri	Nilai
Titik lebur	660°C
Struktur kimia	Ruang Berpusat Muka (FCC)
Berat Jenis	2,70x10 ³ kg/m ³
Modulus Young, E	70,5 Gpa
Kekuatan Tarik	45 Mpa
Tahanan Listrik	2,66 x 10 ³ Ω, pada suhu 20 °C
konduktivitas termal	237 W/m.K

Aluminium mempunyai sifat-sifat yang unik serta menarik, menyebabkan banyak digunakan dengan meluas, antara sifat-sifat tersebut ialah :

- i. Tahan korosi
- ii. Suhu lebur yang rendah
- iii. Konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi
- iv. Bersinar dan menyerap cahaya yang tinggi (85% - 95%) dan memantulkan cahaya yang sangat rendah (4% - 5%)
- v. Tidak beracun.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Proses Rancangbangun

Proses rancangbangun adalah suatu proses yang dimulai dari pemahaman kepada alat yang akan dibuat, dan penggabungan beberapa ide untuk merencanakan alat selanjutnya membuat sket diakhiri dengan pembangunan alat.

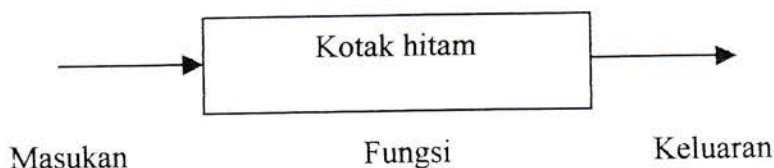
3.1.1 Analisis Fungsi Peralatan

Analisis fungsi peralatan bertujuan untuk memastikan bahwa fungsi-fungsi utama yang perlu dilakukan untuk melaksanakan rancangbangun. Arti fungsi di sini adalah ciri-ciri utama yang perlu ada pada suatu rancangbangun bentuk dan untuk memenuhi keperluan atau tujuan rancangbangun tersebut. Melalui analisis fungsi, masalah dapat dibagi-bagi dengan lebih sistematis dan ini dapat membantu dalam penghasilan konsep rancangbangun bentuk pada peringkat penghasilan konsep penyelesaian.

Metode melaksanakan analisis fungsi adalah seperti berikut:

Langkah 1:

Kenal pasti dalam bentuk masukan dan keluaran tentang apa yang dilakukan oleh rancangbangun.



Gambar 3.1: Proses rancangbangun

Dengan menggunakan teknik kotak hitam, diketahui bahwa masukan merupakan proses atau peringkat sebelum fungsi rancangbangun dijalankan. Keluaran pula merupakan hasil setelah fungsi reancangbangun selesai.

Langkah 2:

Proses utama yang perlu dilakukan oleh rekabentuk. Pada tahap ini untuk proses utama yang perlu dilaksanakan oleh seorang perancangbangun. Perlu diingatkan bahwa fungsi ini perlu dinyatakan secara umum.

3.2 Pertimbangan Rancangbangun

Rancangbangun bukanlah satu proses yang dapat dihasilkan secara spontan atau tiba-tiba. Peringkat awal proses ialah dengan mengenali keperluan-keperluannya. Keperluan utama bagi projek ini ialah mengukur nilai konduktivitas termal yang terjadi sewaktu proses perpindahan panas. Proses kedua ialah proses pemahaman untuk memahami dengan lebih terperinci tentang masalah yang bakal dihadapi, juga dikenali sebagai pernyataan masalah. Masalah yang akan timbul ialah agar panas mengalir hanya pada satu arah (1-dimensi) dan tidak ada panas yang terlepas ke arah lain. Apakah bahan yang sesuai digunakan dalam projek ini?. Penghasilan konsep penting untuk satu rancangbangun agar menyelesaikan pernyataan masalah selesai. Proses mengekang panas agar tidak mengalir pada semua arah, penggunaan isolator panas merupakan penyelesaian yang terbaik. Isolator panas dapat memastikan panas mengalir pada arah yang dikehendaki (1-dimensi) atau satu arah saja. Proses seterusnya ialah proses pembangunan konsep. Proses ini berhubungan dengan biaya, ukuran, pembuatan model dan sebagainya. Alat yang akan dihasilkan ini ringan dan ukurannya sesuai dan mudah untuk disoperasikan dan disambung kepada sistem pengukuran (komputer).

Tabel 3.1: Morfologi menggabungkan fungsi-fungsi utama

Fungsi	Ide 1	Ide 2	Ide 3	Kategori
Sistem Pemanasan	Pemanas	Pemanas	Sinaran	A
Sumber Tenaga	Tenaga Matahari	Listrik	Gas	B
Bentuk	Bujur Sangkar	Bulat	Segitiga	C
Isolator Panas	Kayu	Asbestos	Fiber	D
Pengukur Suhu	Termometer Kaca	Termokopel	Termokopel	E

3.4 Gabungan Ide untuk Pembuatan Konsep

Ide-ide yang telah pada tabel 3.1 di atas digabungkan untuk menhadatkan konsep yang terbaik dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah:

Tabel 3.2: Beberapa konsep yang dihasilkan

Konsep	Gabungan Ide
1	$2A + 3B + 1C + 3D + 2E$
2	$3A + 3B + 2C + 1D + 1E$
3	$1A + 2B + 1C + 1D + 2E$

Setelah membuat pertimbangan, gabungan idea pada konsep 3 akan digunakan kerana memenuhi ciri-ciri yang dikehendaki.

3.5 Penilaian Setiap Konsep

Berdasarkan kriteria-kriteria yang dipilih, maka ide-ide pada konsep 3 dipilih berdasarkan kesesuaiannya untuk proyek ini. .

3.6 Sketsa Penilaian Ide.

Tabel 3.3: Kriteria penilaian konsep idea

Kriteria	Kepentingan	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3	Konsep Rujukan
Ringan	7	-	-	+	Datum
Ergonomik	5	+	+	+	
Keselamatan	7	+	-	+	
Ketahanan	6	+	-	+	
Perawatan	6	+	-	-	
Pengoperasian	9	+	+	+	
Pemasangan	5	+	-	+	
$\Sigma +$		6	2	6	
$\Sigma -$		1	5	1	
Σ		31	14	33	

Berdasarkan kriteria-kriteria dari tabel 3.3 kriteria penilaian konsep ide yang dipilih ide konsep 3, ini dipilih berdasarkan kesesuaiannya untuk proyek ini. .

Berdasarkan penilaian ide dan lakaran ide, suatu proses mrancangbangun bentuk akan menjadi bertambah mudah. Sketsa 1 menunjukkan badan yang berbentuk segiempat tepat dan menggunakan panas yang terhasil dari dapur untuk dijadikan sistem pemanasannya. Dari segi

3.5 Penilaian Setiap Konsep

Berdasarkan kriteria-kriteria yang dipilih, maka ide-ide pada konsep 3 dipilih berdasarkan kesesuaiannya untuk proyek ini.

3.6 Sketsa Penilaian Ide.

Tabel 3.3: Kriteria penilaian konsep idea

Kriteria	Kepentingan	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3	Konsep Rujukan
Ringan	7	-	-	+	Datum
Ergonomik	5	+	+	+	
Keselamatan	7	+	-	+	
Ketahanan	6	+	-	+	
Perawatan	6	+	-	-	
Pengoperasian	9	+	+	+	
Pemasangan	5	+	-	+	
$\Sigma +$		6	2	6	
$\Sigma -$		1	5	1	
Σ		31	14	33	

Berdasarkan kriteria-kriteria dari tabel 3.3 kriteria penilaian konsep ide yang dipilih ide konsep 3, ini dipilih berdasarkan kesesuaiannya untuk proyek ini.

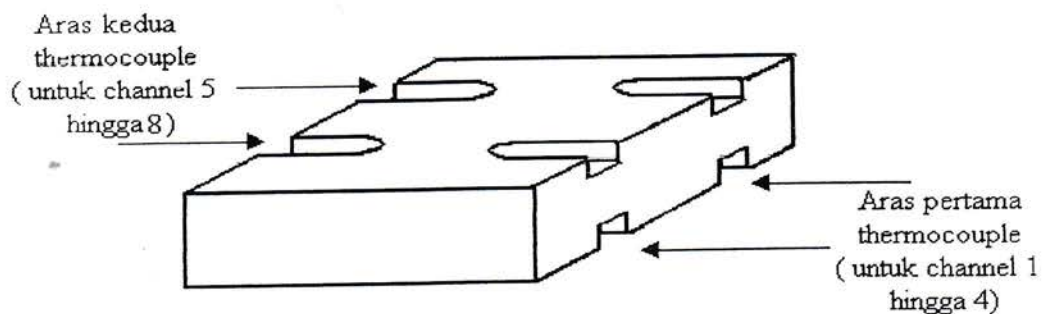
Berdasarkan penilaian ide dan lakaran ide, suatu proses mrancangbangun bentuk akan menjadi bertambah mudah. Sketsa 1 menunjukkan badan yang berbentuk segiempat tepat dan menggunakan panas yang terhasil dari dapur untuk dijadikan sistem pemanasannya. Dari segi

rekabentuknya, amat praktikal tetapi sistem pemanasannya tidak efisien. Untuk penghasilan air ini, pengaliran panas amat penting. Dengan menggunakan dapur panas yang dialirkan tidak rata. Isolator panas yang digunakan amat baik tetapi karena penggunaan asbestos mengganggu kesehatan, maka ia tidak boleh digunakan.

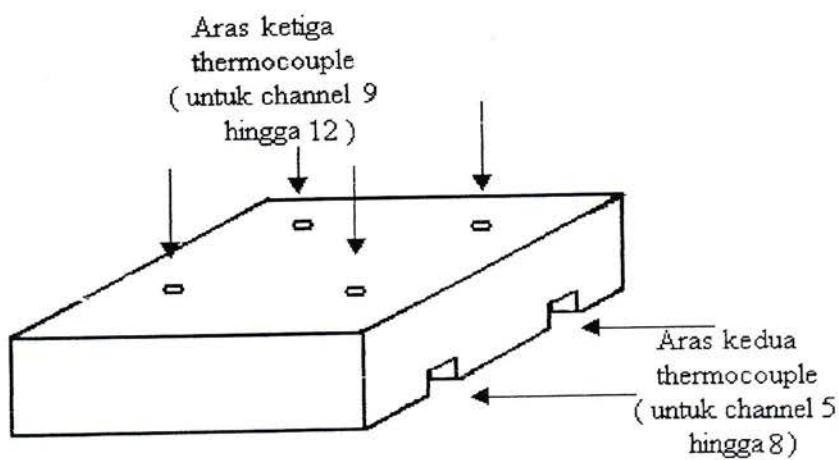
Pilihan kedua menunjukkan badan berbentuk bulat. Sistem pemanasan menggunakan sistem solar atau pancaran cahaya matahari. Isolator panas yang digunakan ialah kayu, ide ini menggunakan termometer kaca sebagai alat pengukur suhu. Pada dasarnya, ide ini amat modular dan praktikal, tetapi pancaran cahaya matahari tidak dapat memanaskan bahan ujikaji pada suhu yang tinggi. Selain itu bacaan termometer berkemungkinan berlakunya ralat sewaktu mengambil data.

Setelah mengkaji semua bahan pustaka, diapati perpindahan panas konduksi dominan dibanding secara pancaran dalam pelaksanaan eksperimen ini. Konsep ketiga menunjukkan badan meter berbentuk segiempat tepat, menggunakan heater sebagai alat pemanas, fibre sebagai penebat dan termokopel sebagai alat pengukur suhu dilaksanakan pada rancangbangun alat ini. Sistem pemanasannya mengalirkan panas secara serentak kepada bahan referensi. Setelah membuat prosedur perancangan rancangbangun, maka dibuat rancangan yang sesuai untuk eksperimen ini adalah seperti rekaan dibawah. Rekaan terperinci seperti dalam lampiran.

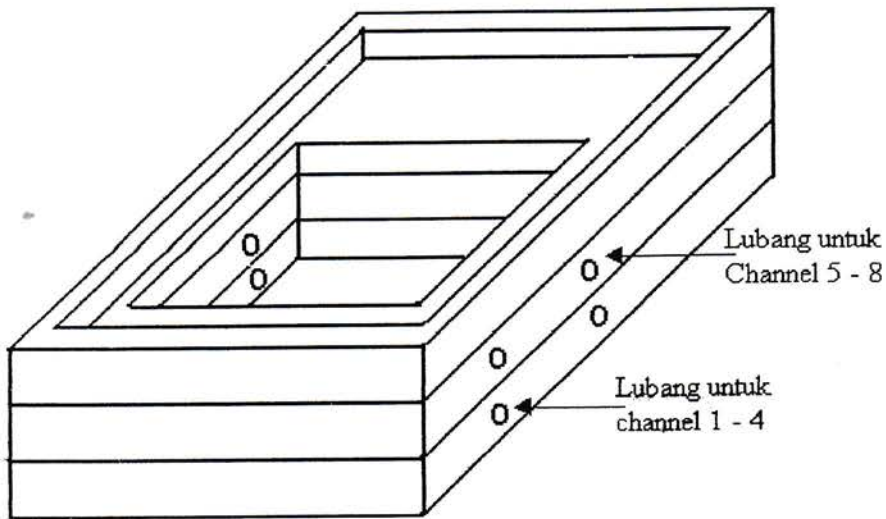
Sketsa kasar:



Gambar 3.3: Rancangan bentuk bahan rujukan



Gambar 3.4: Rancangan bentuk bahan eksperimen



Gambar 3.5: Rancangan badan alat konduktivitas termal

3.7 Spesifikasi Rancanbangun Projek

3.7.1 Badan

- i. Bahan digunakan mempunyai nilai konduktivitas termal yang rendah agar tidak mempengaruhi hasil eksperimen.
- ii. Badan mestilah ringan dan tahan.
- iii. Bahan yang di gunakan haruslah mudah dirawat dan banyak di pasaran.

3.7.2 Keselamatan

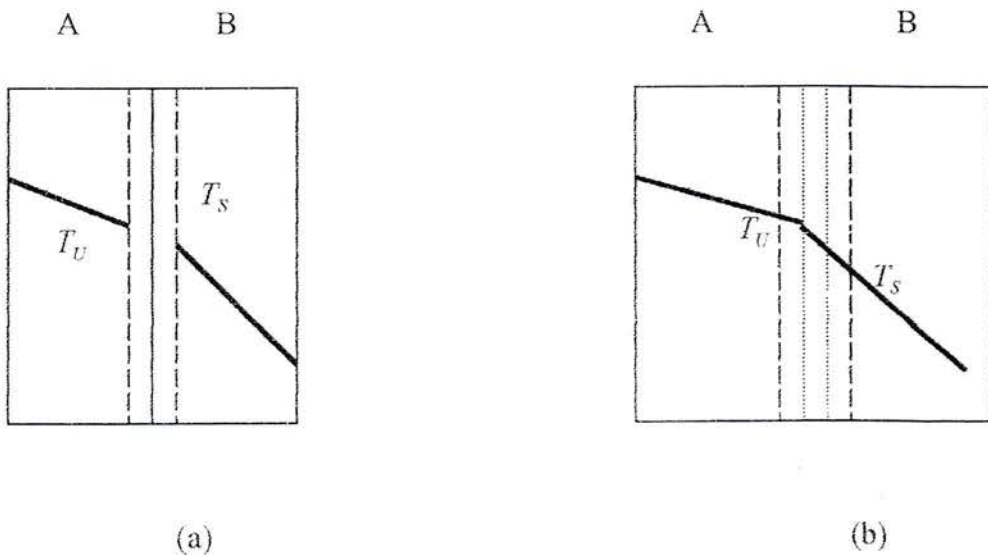
- i. Elemen pemanas mestilah berada dalam keadaan terlindung.

3.7.3 Ergonomik

- i. Produk haruslah nyaman dan ringan untuk di gunakan.
- ii. Rancangan ergonomik akan berdasarkan kepada data antropometrik BSIPP 7317: 1987 Ergonomics- standards and guideline for designers.
- iii. Alat nyaman dan aman digunakan walaupun penggunaan sesering mungkin.

3.8 Metode Penyelesaian

Secara umumnya, perpindahan panas secara konduksi bergantung kepada suhu, fluks panas mengalir melalui permukaan padat dan luas permukaan.



Gambar 3.6: Antarmuka 2 dinding padat

Gambar 3.6 (a) menunjukkan antarmuka 2 lapisan dinding padat, permukaan bahan padat harus halus dan rata. Ada dua permukaan yaitu permukaan-U dan permukaan-S. Permukaan-permukaan ini ditempatkan bersebelahan antara satu sama lain. Hukum pertama

termodinamika diaplikasikan untuk sistem tertutup yang ada antara permukaan- U dan permukaan- S:

$$Q|_U = Q|_S \quad (3.1)$$

Dengan pertimbangan tidak ada tenaga termal dapat disimpan dalam sistem (kerana sangat kecil) dan andaian A unit luas dan hukum Fourier memberikan:

$$-k A \frac{dT}{dx}|_U = -k A \frac{dT}{dx}|_S \quad (3.2)$$

dengan mempertimbangkan jarak antara kedua permukaan diabaikan, maka $T_U = T_S$ untuk permukaan licin, didapati tidak ada hambatan panas pada antarmuka.

Untuk gambar 3.6 (b), jika ada permukaan yang kasar, bahan pepejal akan menyentuh pada bahagian-bahagian tertentu saja. Ini mengakibatkan ada ruangan antarmuka bahan pepejal. Perpindahan panas yang terjadi adalah tiga dimensi kerana mungkin ada celah masuk kedaerah sentuhan dan terdapat laluan konveksi dan radiasi melalui celah-celah.

Selain itu, permukaan U dan S terletak agak jauh dari antarmuka bahan padat untuk panas berpindah secara satu dimensi. Tiada profil suhu ditunjukkan antara permukaan U dan S perpindahan panas secara konveksi dalah:

$$Q = h_i A (T_U - T_S) \quad (3.3)$$

atau

$$-k_A \frac{dT}{dx}|_U = h_i (T_U - T_S) = -k_B \frac{dT}{dx}|_S \quad (3.4)$$

Biasanya terdapat hambatan sentuhan melalui permukaan antarmuka padat. Hambatan ini boleh mendominasi hambatan termal bila ada bahan padat yang mempunyai sifat konduktivitas termal yang tinggi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Alat Pengukur Konduktivitas Termal

Bahan yang akan diukur konduktivitas termalnya:

- i. Baja Perkakas (Tool Steel)
- ii. Baja Carbon Rendah (Low Carbon Steel)
- iii. Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Peralatan eksperimen

Sebuah alat pengukur konduktivitas termal, aluminium sebagaibahan referensi, termokopel, insulator panas berbentuk bulai, silicone sealent, pemanas, voltage regulator, aluminium foil dan Multiplex untuk disambung kepada komputer.

4.2 Prosedur Eksperimen

Pengukuran yang dilaksanakan kepada material yang hendak diukur konduktivitas termalnya ialah menggunakan teknik pemanasan satu arah. Sumber panas berumber dari permukaan rata pemanas. Keseluruhan pengukuran dilaksanakan secara digital termasuk pengambilan data-data.

- i. Eksperimen ini dilaksanakan dengan memasang pemanas pada bagian bawah badan alat. Silicone sealant digunakan pada sekitar badan pemanas yang bersentuhan dengan badan alat bagi memastikan tidak panas yang keluar.

- ii. Termokopel dimasukkan ke dalam isolator panas dan berbalut aluminium foil yang diletakkan di dalam badan alat (lapisan pertama) agar bersentuhan dengan permukaan pemanas dan permukaan aluminium. termokopel ditandai dengan nomor (channel 1 hingga channel 4).
- iii. Letakkan aluminium padaudukannya dan sekali lagi termokopel yang bersalut isolator panas dengan aluminium foil diletakkan pada lapisan kedua (channel 5 hingga Channel 8). Tujuannya agar termokopel bersentuhan dengan permukaan atas aluminium dan bahan eksperimen. Isikan ruang kosong dalam meter dengan fiber agar tidak ada panas keluar.
- iv. Kemudian letakkan bahan eksperimen diatas aluminium. Isikan fiber pada ruang kosong.
- v. Sentuhkan termokopel pada bagian atas bahan eksperimen dan temokopel dinomori dengan (channel 9 hingga channel 12).
- vi. Semua termokopel disambung kepada Multiplex. Multiplex merupakan sebuah alat penyesuai isyarat yang disambung kepada komputer untuk memberi bacaan termokopel dan dipaparkan pada skrin komputer.
- vii. Dengan menggunakan voltage regulator, pemanasan boleh dikontrol. Eksperimen dilaksanakan pada julat suhu antara 300 K hingga 400 K. Kemudian, data-data yang diperolehi diisi dalam tabel hasil eksperimen konduktivitas termal.
- viii. Langkah iv diulang untuk bahan eksperimen yang lain.
- ix. Eksperimen ini diulang sebanyak 5 kali berdasarkan bahan yang akan diukur.

4.3 Hasil Eksperimen

Hasil eksperimen konduktivitas termal dilaksanakan pada:

Tempat : Laboratorium Termodinamika

Tanggal : 15 Pebruari 2003

Waktu : 14.30 –16.30

Bahan : Baja Perkakas(df3)

Tabel 4.1: Hasil eksperimen baja perkakas

Channel 1-4 Suhu (Kelvin)	Channel 5-8 Suhu (Kelvin)	Channel 9-12 Suhu (Kelvin)
300	299.55	296.7
310	309.55	306.8
320	319.55	316.8
330	329.55	326.7
340	339.56	336.8
350	341.56	346.8
360	359.56	356.8
370	369.56	366.8
380	379.56	376.8
390	389.56	386.9
400	399.56	396.8

Tempat : Laboratorium Termodinamika
Tanggal : 16 Pebruari 2003
Waktu : 14.30 –16.30
Bahan : Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Tabel 4.2: Hasil eksperimen Bahan Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Channel 1-4 Suhu (Kelvin)	Channel 5-8 Suhu (Kelvin)	Channel 9-12 Suhu (Kelvin)
300	299.55	293.6
310	309.55	303.6
320	319.55	313.7
330	329.56	323.8
340	339.56	333.9
350	349.56	344.0
360	359.56	354.1
370	369.56	364.1
380	379.56	374.2
390	389.56	384.3
400	399.56	394.4

Tempat : Laboratorium Termodinamika

Tanggal : 17 Pebruari 2003

Waktu : 14.30 –16.30

Bahan : Baja Carbon Rendah (Low Carbon Steel)

Tabel 4.3: Hasil eksperimen Bahan Baja Carbon Rendah (Low Carbon Steel)

Channel 1-4 Suhu (Kelvin)	Channel 5-8 Suhu (Kelvin)	Channel 9-12 Suhu (Kelvin)
300	299.55	297.8
310	309.55	306.8
320	319.55	317.9
330	329.55	327.9
340	339.56	337.9
350	349.56	348.0
360	359.56	358.0
370	369.56	368.0
380	379.56	378.1
390	389.56	388.1
400	399.56	398.1

4.3.1 Contoh pengiraan

$$Q = -kA \frac{dT}{dX}$$

Diketahui $V = 60 \text{ V}$, $R = 55.8 \text{ Ohm}$

$$Q = VI$$

$$V = IR$$

$$\therefore I = \frac{V}{R} = \frac{60}{55.8} = 1.08 \text{ Ampere}$$

$$\text{Nilai } Q = 1.08 \times 60 = 64.8 \text{ Watt}$$

Luas bahan referensi dan eksperimen: $78\text{mm} \times 98\text{mm}$

Jarak antara termokopel : $20\text{mm} - (2.5\text{mm} + 7\text{mm}) = 10.5\text{mm}$

Ambil: Nilai baja tahan karat (Stainless Steel) pada 300 K di channel $4 - 8 = 299.55$

Nilai Stainless Steel pada 300 K di channel $9 - 12 = 293.6$

$$Q = -kA \frac{dT}{dX}$$

$$64.8 = -k(0.007644) \frac{299.55 - 293.6}{0.0105}$$

$$k = 14.9 \text{ W/m.K}$$

Langkah perkiraan ini digunakan untuk mencari nilai k bagi bahan-bahan yang lain.

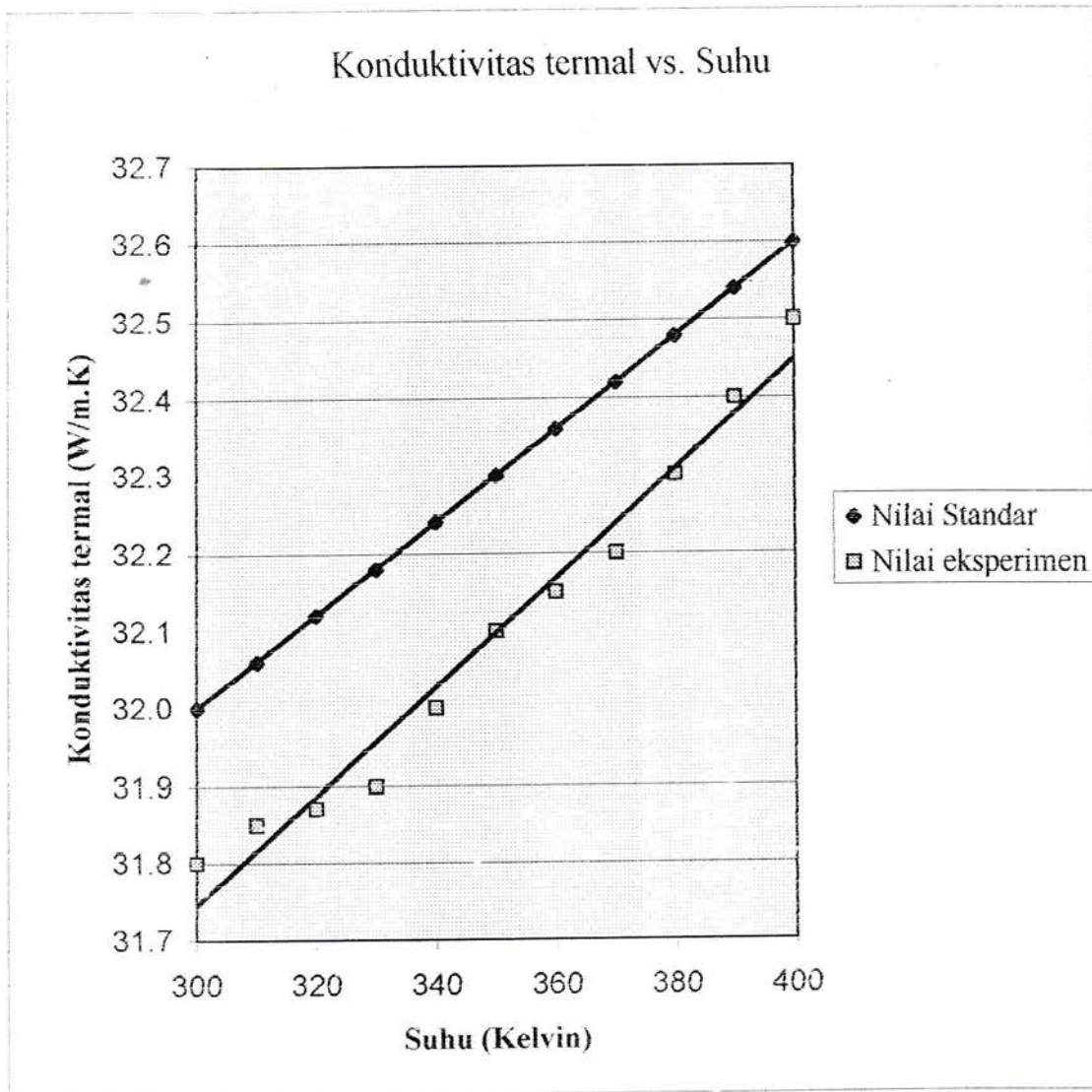
Hasil daripada perkiraan, maka nilai k bahan diperolehi dan dibanding dengan nilai standar bahan.

Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan Baja

Perkakas (Tool Steel)

Tabel 4.4: Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan Baja Perkakas (Tool Steel) (df3)

Suhu (K)	k Standar	k Eksperimen
300	32.0	31.8
310	32.1	31.85
320	32.1	31.87
330	32.2	31.9
340	32.2	32.0
350	32.3	32.1
360	32.4	32.15
370	32.4	32.2
380	32.5	32.3
390	32.5	32.4
400	32.6	32.5



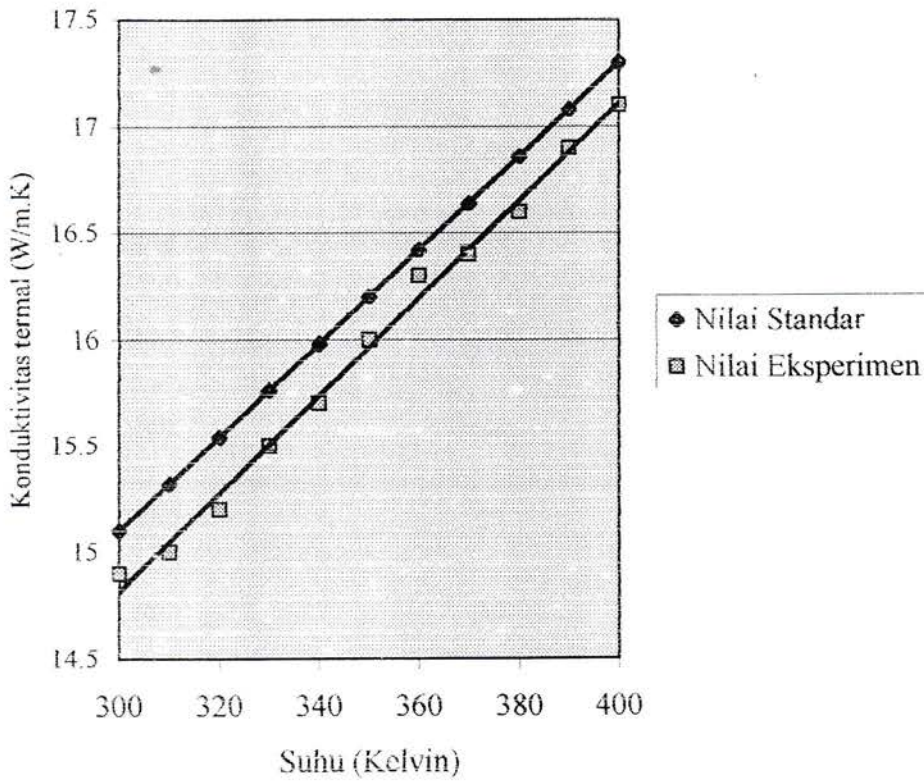
Gambar 4.1: Grafik Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan Baja Perkakas (Tool Steel)

Tabel 4.5: Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan baja tahan karat (Stainless Steel)



Suhu (K)	k Standar	k Eksperimen
300	15.1	14.9
310	15.3	15.0
320	15.5	15.2
330	15.8	15.5
340	16.0	15.7
350	16.2	16.0
360	16.4	16.3
370	16.6	16.4
380	16.9	16.6
390	17.1	16.9
400	17.3	17.1

Konduktivitas termal vs. Suhu

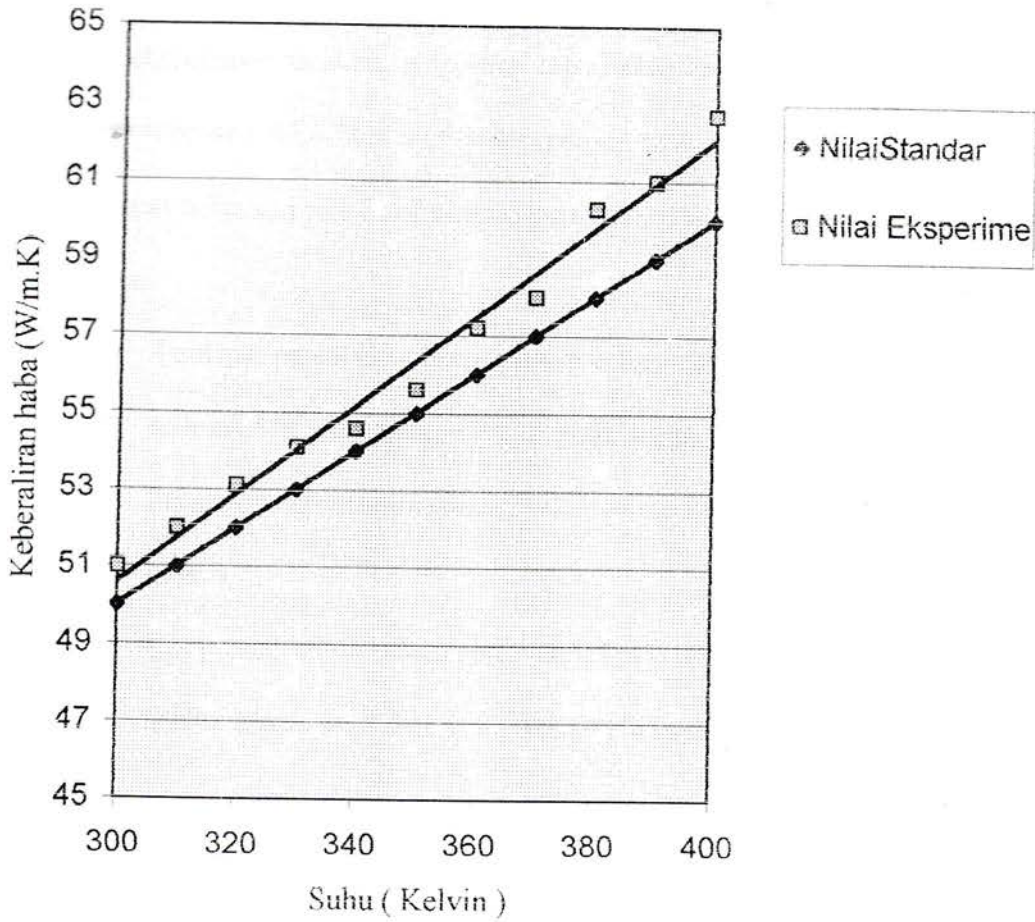


Gambar 4.2: Grafik Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Tabel 4.6: Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan baja carbon rendah (Low Carbon Steel)

Suhu (K)	k Standar	k Eksperimen
300	50	51.0
310	51	52.0
320	52	53.1
330	53	54.1
340	54	54.6
350	55	55.6
360	56	57.2
370	57	58.0
380	58	60.3
390	59	61.0
400	60	62.7

Konduktivitas termal vs. Suhu



Gambar 4.2: Grafik Perbandingan konduktivitas termal hasil eksperimen dengan nilai standar untuk bahan Baja Carbon Rendah (Low Carbon Steel)

4.4 Pembahasan Hasil Eksperimen Konduktivitas Termal Bahan

1. Prosentasi ralat untuk eksperimen pertama adalah prosentasi ralat terkecil yaitu sebesar 0.223 %, bahan yang digunakan ialah baja perkakas (Tool Steel) (df 3).

2. Untuk eksperimen bahan baja tahan karat (Stainless Steel), prosentasi ralat sebesar 0.26 %. Grafik konduktivitas termal melawan suhu merupakan grafik yang paling mendekati nilai standar bahan.
3. Bagi eksperimen terakhir, prosentasi ralat bahan baja carbon rendah (Low Carbon Steel) sebesar 1.46 % dan merupakan prosen ralat terbesar.
4. Terdapat beberapa titik hasil eksperimen menjauhi daripada grafik linear yang diplot, kerana :
 - Terdapat panas yang berpindahan keluar dari badan alat. Diperkirakan panas sebesar 5 % yang berpindah ke lingkungan.
 - Peralatan eksperimen memerlukan waktu untuk menghasilkan bacaan yang baik
 - Komposisi kimia bahan yang mungkin tidak sama dengan spesifikasi asal bahan. Maka hasil data yang diperolehi berbeda dengan nilai standar bahan.

BAB V



KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat setelah menganalisis data hasil eksperimen dan

Pembahasan terhadap nilai standar ialah:

- i. Nilai konduktivitas termal bahan seunit luas suatu jasad adalah berbanding lurus dengan suhu suatu bahan tersebut. Nilai konduktivitas termal adalah berbeda dan bergantung kepada jenis-jenis bahan.
- iii. Bahan yang memiliki nilai konduktivitas termal (k) yang tinggi merupakan penghantar panas yang baik, dan sebaliknya.
- iv. Secara umum eksperimen diperoleh mendekati nilai standar bahan dan eksperimeni dan memenuhi objektif eksperimen.

5.2 Saran

Daripada hasil kajian dan analisis terhadap pembuatan konduktivitas termal meter ini,

saran adalah agar dilaksanakan penelitian lanjutan yang diharapkan nantinya akan

menyempurnakan kondisi dan kemampuan alat dalam beroperasi., dan perbaikan tersebut

antara lain:

- i Menggunakan isolator panas yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang lebih rendah dari nilai sekarang.
- ii Penambahan beberapa termokopel agar hasil pengukuran lebih tepat dan teliti..

iii Penggunaan bahan referensi yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang tinggi dapat memberi bacaan k untuk bahan eksperimen lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Frank P. Incopera & David P. Dewitt, *Introduction to Heat Transfer*, John Wiley & sons, (4th edition).
2. Francis S. Tse & Ivan E. Morse, *Measurement and Instrumentation in Engineering*, Marcel Dekker, INC.
3. Kenneth Wark, Jr / Donald E. Richards (1999) , *Thermodynamics*, McGraw-Hill. Year, (6th edition)
4. Michael J. Moran and Howard N. Shapiro (1995) , *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, John Wiley & sons, (3rd edition).
5. William F. Smith, *Principles of Materials Science and Engineering*, McGraw-Hill. (3rd edition).
6. Shigley Mischke, *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill. (6th edition)