

KAJIAN SECARA UJIKAJI UNTUK MENENTUKAN PEKALI KEKONDUKSIAN TERMA SUATU BAHAN MUDAH CAIR

Tee How Kee
Amer Nordin Darus
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia
81310 UTM Skudai, Johor

ABSTRAK

Kekonduksian terma, k bagi sesuatu bahan merupakan ciri termo-fizikal bahan tersebut. Nilai k ini menunjukkan secara relatif senang atau susah haba dipindahkan melalui suatu bahan apabila terdapat perbezaan suhu antara dua permukaan bahan tersebut. Secara fizik, kekonduksian terma adalah kuantiti haba yang akan mengalir bagi seunit masa, seunit luas normal kepada arah aliran haba, melalui unit tebal bahan apabila perbezaan suhu melintang tebal adalah satu darjah.

1.0 PENGENALAN

Sifat kekonduksian terma bagi sesuatu bahan bergantung kepada komposisi kimia, struktur fizikal dan keadaan fasanya. Ia juga bergantung kepada suhu dan tekanan yang dikenakan ke atas bahan tersebut. Walau bagaimanapun, dalam kebanyakan kes, kekonduksian terma kurang bergantung kepada tekanan berbanding dengan suhu. Dengan itu, faktor tekanan boleh diabaikan. Kekonduksian terma hanyalah fungsi suhu bahan tersebut. Dalam kes tertentu, kekonduksian terma juga berubah mengikut arah aliran haba.

Untuk kebanyakan bahan, terutamanya dalam julat suhu yang kecil, perubahan kekonduksian terma terhadap suhu boleh diwakili oleh fungsi linear berikut:

$$k(T) = k_o [1 + \gamma (T - T_o)] \quad (1)$$

dengan $k_o = k(T_o)$, T_o adalah suhu rujukan, γ adalah pemalar yang dinamakan angkali suhu bagi kekonduksian terma. Dalam kes tertentu, perubahan kekonduksian terma dengan suhu boleh diabaikan iaitu apabila julat suhu yang dipertimbangkan tidak begitu besar ataupun apabila kekonduksian terma kurang bergantung kepada suhu.

Dalam ujikaji yang dilakukan bahan mudah cair yang digunakan adalah wax. Wax mempunyai kegunaan yang luas dalam bidang industri. Wax boleh digunakan sebagai bahan corak untuk tuangan lilin. Di samping itu wax juga boleh digunakan sebagai komponen bagi pengilat, kertas, salutan kontena, lilin dan perekat leburan panas. Pengetahuan nilai k untuk wax adalah penting agar

kita dapat mengawal pengembangannya pada suhu yang tertentu. Walau bagaimanapun, wax boleh dibahagikan kepada banyak jenis seperti wax asli, wax galian, parafin wax dan wax tiruan. Dalam ujikaji ini, parafin wax dipilih sebagai spesimen.

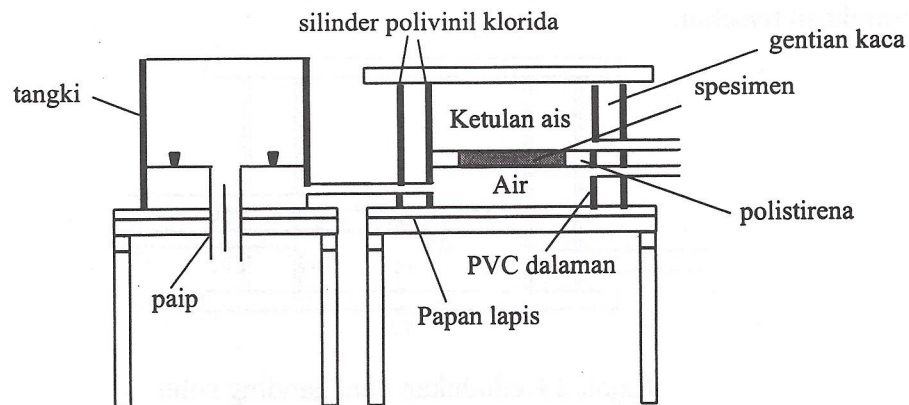
Setakat ini belum terdapat lagi kaedah ujikaji yang piawai untuk menentukan nilai k bagi bahan mudah cair [1][2]. Kaedah pengujian piawai seperti *Guarded Hot Plate ASTM C-177*, *Heat Flow Meter Apparatus ASTM C-518* dan *Guarded Comparative Longitudinal Heat Flow Technique E-1225* didapati tidak sesuai untuk tujuan tersebut. Kaedah-kaedah tersebut menggunakan teknik pemanasan (*heater*) untuk mewujudkan kecerunan suhu dalam spesimen. Teknik ini tidak sesuai digunakan pada bahan mudah lebur kerana bahan mudah lebur mempunyai takat lebur yang rendah dan ia akan mengalami perubahan bentuk apabila dipanaskan.

Dengan membuat pengubahsuaian pada kaedah-kaedah piawai, satu kaedah yang sesuai untuk menentukan nilai k bahan mudah cair telah dibangunkan. Seterusnya, radas direkabentuk untuk tujuan ujikaji.

2.0 UJIKAJI

Spesimen ujikaji yang digunakan ialah lilin jenis parafin wax. Lilin jenis parafin wax ini mempunyai takat lebur antara $40^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$. Lilin ini dilebur dan dituang ke dalam satu acuan silinder yang berdiameter dalaman 86 mm serta mempunyai ketebalan 10 mm. Nisbah ketebalan kepada diameter spesimen hendaklah lebih kurang $1/10$. Spesimen kemudiannya dikeluarkan dari acuan dan permukaannya diratakan.

Pemasangan radas ujikaji keseluruhan adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1 Radas Ujikaji

Dalam radas ini, spesimen akan ditempatkan pada tengah silinder berongga polivinil klorida dan ditebat dengan polis polistirena. Kecerunan suhu diwujudkan dalam spesimen dengan menetapkan dua suhu yang berlainan pada permukaan spesimen. Pada bahagian atas spesimen ketulan ais akan diletakkan bersentuhan dengan spesimen. Bahagian bawah spesimen pula dialirkan air pada suhu tertentu pada kadar alir yang malar.

Kadar alir air yang malar ini dikawal dengan menetapkan ketinggian air dalam tangki pada aras h_0 dan ketinggian air pada salur keluar pada aras h_1 untuk memperolehi satu perbezaan ketinggian (Δh). Satu paip berongga dengan ketinggian h_0 dimasukkan dari dasar tangki supaya air yang melebihi aras h_0 dapat mengalir keluar dari tangki. Nilai kadar alir air diperolehi dengan menggunakan persamaan tenaga iaitu:

$$\frac{P_0}{\omega} + \frac{v_0^2}{2g} + h_0 = \frac{P_1}{\omega} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 \quad (2)$$

Oleh sebab nilai P_0 , v_0 dan P_1 adalah bersamaan dengan sifar tolok. Maka halaju alir pada salur keluar (v_1)

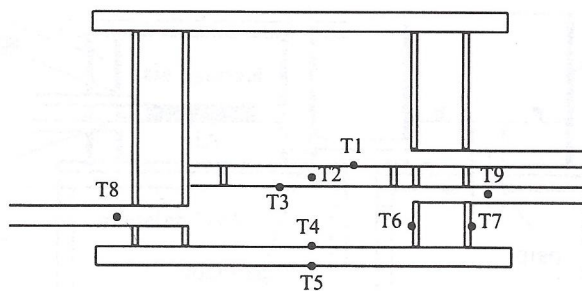
$$v_1 = \sqrt{2g(h_0 - h_1)} = \sqrt{2g\Delta h} \quad (3)$$

$$\text{Kadar alir air, } \dot{m} = \rho Av_1 \quad (4)$$

dengan ρ = ketumpatan air (kg/m^3)

A = Luas keratan rentas salur keluar (m^2)

Selain itu, pengganding suhu (T) akan dipasang pada beberapa kedudukan dalam radas seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2 untuk mengukur suhu pada permukaan tersebut.



Rajah 2 Kedudukan pengganding suhu

Pengganding suhu digunakan untuk mengukur suhu pada setiap permukaan yang bersentuhan dengan bekalan haba. Rajah 2 menunjukkan kedudukan thermocouple dalam radas ujikaji. Pengganding suhu yang digunakan adalah

jenis Kromel Alumel jenis K. Jenis pengganding suhu ini boleh mengukur suhu dari -200°C ke 1100°C . Pengganding suhu ini dilekatkan pada permukaan spesimen dengan menggunakan pita penebat haba dan hujung wayar dikeluarkan dan dipasang pada alat meter suhu pengganding suhu imbasan.

Pada awal analisis, pemindahan haba dari persekitaran diabaikan. Kekonduksian terma spesimen, (k_{sp}) boleh ditentukan dengan menggunakan persamaan Fourier iaitu:

$$\dot{Q}_{air} = \dot{Q}_{sp}$$

$$\dot{m}c_{pair}(T_8 - T_9) = \frac{K_{sp}A_{sp}(T_3 - T_1)}{L_{sp}} \quad (5)$$

dengan

- \dot{m} - kadar alir air
- c_{pair} - muatan haba tentu air
- T_8 - suhu salur masuk
- T_9 - suhu salur keluar
- k_{sp} - kekonduksian terma spesimen
- L_{sp} - ketebalan spesimen
- A_{sp} - luas permukaan spesimen yang dipanaskan
- T_1 - suhu permukaan sejuk spesimen
- T_3 - suhu permukaan panas spesimen

Dalam keadaan sebenar, pemindahan haba dari persekitaran perlu diambil kira. Maka:

$$\Sigma \dot{Q} = \dot{Q}_{air} + \dot{Q}_{persekitaran} = \dot{Q}_{sp} \quad (6)$$

di mana,

$$\dot{Q}_{air} = \dot{Q}_{c_{pair}}(T_8 - T_9) \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{persekitaran} = \frac{k_{pl}A_{pl}(T_5 - T_4)}{L_{pl}} + \frac{2\pi(T_7 - T_6)}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_{pvc}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_f} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_{pvc}}} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{sp} = \frac{k_{sp}A_{sp}(T_3 - T_1)}{L_{sp}} \quad (9)$$

dengan

- k_{pl} - kekonduksian terma papan lapis (W/m, C)

- A_{pl} - luas keratan rentas papan lapis, m^2
- T_5 - suhu permukaan papan lapis, C
- T_4 - suhu permukaan sejuk papan lapis, C
- L_{pl} - ketebalan papan lapis, m
- T_7 - suhu permukaan panas silinder PVC, C
- T_6 - suhu permukaan sejuk selinder PVC, $^{\circ}C$
- K_{pvc} - kekonduksian terma PVC, $W/m^{\circ}C$
- k_f - kekonduksian terma *fiberglass*, $W/m.^{\circ}C$
- l - Panjang silinder, m
- r_1 - Jejari dalaman bagi PVC dalaman, m
- r_2 - Jejari luaran bagi PVC dalaman, m
- r_3 - Jejari dalaman bagi PVC luaran, m
- r_4 - Jejari luaran bagi PVC luaran, m

Jenis spesimen ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam radas. Dalam pengukuran jisim dan isipadu, ketumpatan (ρ), spesimen boleh ditentukan.

Spesimen yang disediakan kemudiannya diletakkan dalam tengah silinder *polivinil klorida* (PVC) yang ditebat dengan polistirena. Permukaan atas spesimen disejukkan dengan menggunakan ketulan ais. Permukaan bawah spesimen pula dialirkan air bagi mewujudkan kecerunan suhu pada spesimen. Sebelum ini, pengganding suhu dipasang dan penebat seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.

Air yang memasuki silinder PVC ditetapkan pada kadar alir malar dengan memastikan perubahan ketinggian air, Δh adalah sentiasa tetap. Bacaan suhu pada pengganding suhu, $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9$ diambil pada setiap lima minit. Ujikaji dilakukan sehingga keadaan mantap tercapai. Keadaan mantap tercapai apabila suhu permukaan panas spesimen dan suhu permukaan sejuk spesimen adalah mantap.

Apabila keadaan mantap tercapai, ujikaji diberhentikan dan radas dibiarkan sejuk. Ujikaji diulangi untuk mendapatkan beberapa nilai kekonduksian pada suhu min yang berbeza.

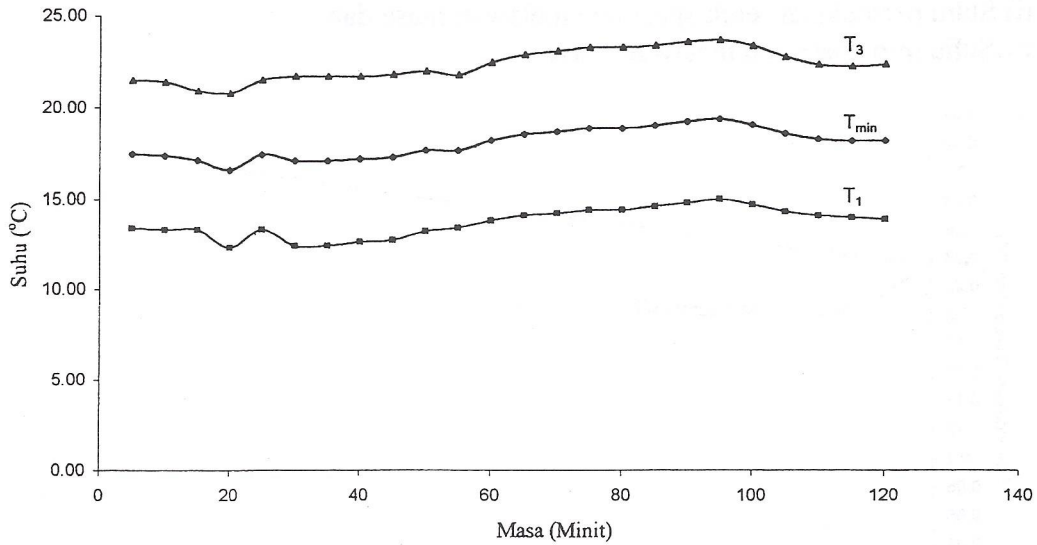
3.0 KEPUTUSAN

Ujikaji dilakukan sebanyak tiga kali untuk spesimen yang sama. Tujuannya adalah untuk mendapatkan beberapa nilai kekonduksian terma spesimen pada suhu min yang berlainan. Daripada data yang diperolehi, graf suhu melawan masa diplotkan seperti dalam Rajah 3.

Analisis untuk menentukan nilai kekonduksian terma spesimen dibahagikan kepada dua keadaan iaitu analisis dengan pemindahan haba dari persekitaran diabaikan; dan analisis dengan pemindahan haba dari persekitaran diambil kira.

Nilai kekonduksian terma spesimen yang diperolehi bagi beberapa suhu min yang berlainan serta nilai buku yang sedia ada ditunjukkan dalam Jadual 1. Graf

kekonduksian terma melawan suhu min yang diperolehi dari ujikaji diplotkan dan ditunjukkan dalam Rajah 6.



Rajah 3 Kesan suhu ke atas nilai keberaliran terma

Jadual 1 Kekonduksian Terma Ujikaji dan Nilai Buku yang Sediada.

Bahan	Ketumpatan (kg/m ³)	Kekonduksian Terma (W/m ^o C)			Nilai Buku Yang Sediada
		Suhu Min (°C)	Nilai Ujikaji	Suhu Min (°C)	
Parafin wax	922 kg/m ³	18.15	0.3018	0	0.2423
		18.60	0.3042		
		19.80	0.3081		

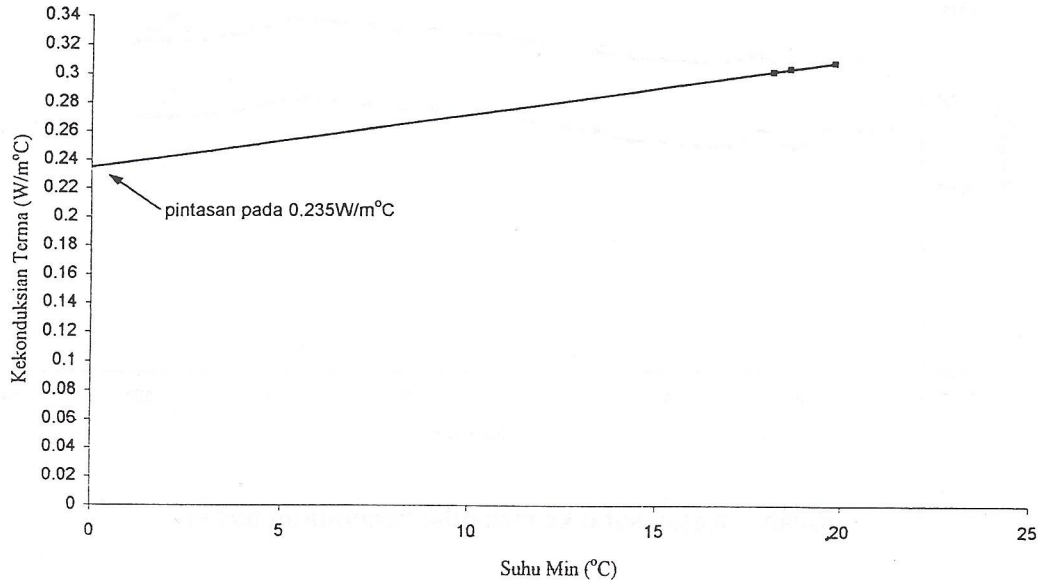
Di bawah keadaan persekitaran pelbagai faktor yang mempengaruhi nilai kekonduksian terma seperti kotoran, keadaan berongga, kelembapan dan suhu semasa ujikaji dilakukan. Nilai kekonduksian terma dalam Jadual 1 yang ditunjukkan adalah berdasarkan kepada suhu min di mana suhunya berlainan berbanding dengan suhu min nilai buku. Justeru itu, perbandingan terus antara nilai ujikaji dengan nilai buku yang sedia ada tidak dapat dilakukan.

Oleh sebab perbandingan terus tidak dapat dilakukan, satu graf nilai kekonduksian terma melawan suhu min telah diplotkan dan ditunjukkan dalam Rajah 4. Daripada graf ini dengan anggapan graf adalah berbentuk linear ekstrapolasi telah dilakukan untuk mendapatkan nilai kekonduksian terma yang sepadan dengan suhu min nilai buku. Didapati nilai kekonduksian terma yang

diperolehi dari ekstrapolasi ialah lebih kurang $0.235 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Nilai ini hampir kepada nilai piawaian [2].

Dari graf kesan suhu ke atas terdapat tiga garis yang berlainan, iaitu:-

- i) Suhu permukaan panas spesimen melawan masa
- ii) Suhu permukaan sejuk spesimen melawan masa dan
- iii) Suhu min spesimen melawan masa



Rajah 4 Kesan suhu (min) ke atas keberaliran terma

Daripada graf-graf yang diplotkan, didapati suhu permukaan panas suhu min dan suhu permukaan sejuk turun naik sehingga keadaan mantap tercapai. Ini mengambil masa selama dua jam untuk mencapai keadaan hampir mantap. Nilai kekonduksian terma ujikaji dikira dari suhu permukaan panas dan suhu permukaan sejuk yang mantap.

Daripada graf, didapati nilai kekonduksian terma bertambah dengan kenaikan suhu min ujikaji. Perkaitan di antara kekonduksian terma dengan suhu min adalah berbentuk linear.

Oleh sebab nilai piawaian adalah suhu 0°C , maka ekstrapolasi telah dilakukan untuk mendapatkan nilai kekonduksian terma yang sepadan pada 0°C . Nilai kekonduksian terma yang diperolehi dari ekstrapolasi ini menghampiri nilai piawaian tersebut. Justeru itu dapat disimpulkan bahawa keputusan yang diperolehi adalah memuaskan.

4.0 KESIMPULAN

Nilai kekonduksian tema yang diperolehi dari ujikadi didapati hampir nilai piawaian [1][2]. Nilai kekonduksian terma pada suhu min yang sama, adalah

lebih rendah sedikit daripada nilai buku. Ini mungkin disebabkan oleh suasana keadaan ujikaji yang berlainan.

Selain itu, hubungan antara kekonduksian terma dengan suhu min adalah berbentuk linear. Kekonduksian terma adalah fungsi suhu dengan kekonduksian terma bertambah dengan kenaikan suhu.

Nilai kekonduksian terma yang diperolehi adalah memuaskan dan boleh diterima. Dengan itu, dapat disimpulkan bahawa radas yang digunakan ini dapat memberikan keputusan pada darjah kejituan tertentu. Sekiranya pengubahsuaian lebih lanjut dibuat pada radas ini, nescaya radas dapat digunakan untuk menentukur kekonduksian terma sesuatu bahan dengan lebih jitu lagi.

RUJUKAN

1. Kakac, S and Yener, Y., 1985, "*Heat Conduction*" 2nd ed. USA: Hemisphere Publishing Corporation, m.s. 11-16.
2. Kreith, F. and Bohn, M. S., 1986, "*Principles of Heat Transfer*" 4th ed. New York: Happer & Row, Publishers, m.s. 647.

