

## Kekonduksian Terma Filem Polimer Lut Sinar, OHP

W. Mahmood Mat Yunus

*Jabatan Fizik  
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar  
Universiti Pertanian Malaysia  
43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia*

Diterima 16 October 1993

### ABSTRAK

Satu kaedah pengukuran kekonduksian terma plastik lut sinar, OHP (overhead projector), dilaporkan. Kekonduksian terma filem plastik PVC, plastik 3M infra merah dan plastik triacetat diukur dengan menggunakan peralatan yang ringkas, mudah dan murah. Nilai kekonduksian terma masing-masing didapati bernilai,  $(0.567 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $(0.312 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , dan  $(0.171 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Nilai kekonduksian terma plastik mylar juga diukur dan nilainya ialah  $(0.212 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , iaitu bersetuju dengan julat nilai yang dilaporkan sebelum ini. Hasil kajian ini juga menyatakan bahawa rintangan haba bahan plastik polimer berkadar linear dengan ketebalan bahan tersebut bersesuaian dengan teori.

### ABSTRACT

A measurement of thermal conductivity of OHP (overhead projector) polymer films is reported. Thermal conductivity of PVC, 3M infra-red and triacetate films was measured using a simple, inexpensive home-made apparatus. The values obtained were:  $(0.567 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $(0.312 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , and  $(0.171 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . The thermal conductivity of mylar film was also measured and its value of  $(0.212 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  is in good agreement with figures previously reported. It has been shown that the heat resistance of polymer films is linearly dependent on the thickness of the film in accordance with the theory.

**Kata kunci: kekonduksian terma, plastik OHP (overhead projektor), mylar dan rintangan haba**

### PENDAHULUAN

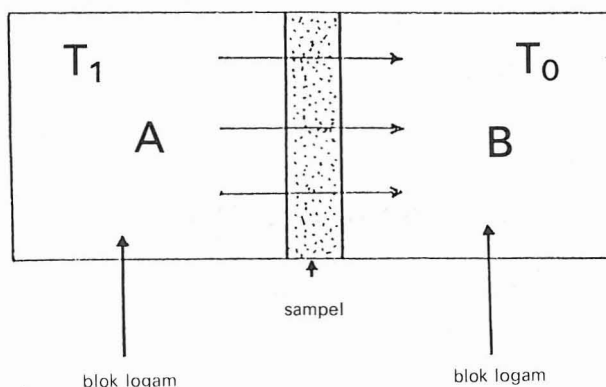
Kekonduksian terma  $K$  ialah salah satu sifat terma bahan yang nilainya diperlukan dalam pelbagai cabang ilmu fizik dan kejuruteraan. Telah banyak kajian dilaporkan mengenai kekonduksian terma dengan menggunakan pelbagai kaedah pengukuran. Akhir-akhir ini kaedah transient

(dawai dan plat) panas (Fox *et al.* 1987; Jones 1988; Gummow and Sigalas 1988; Log 1993) dan kaedah sinar kilat laser (Golombok and Shirvill 1986; Darby *et al.* 1988) telah menjadi popular untuk mengukur kekonduksian terma bahan. Kaedah klasik masih mendapat perhatian para penyelidik untuk mengukur kekonduksian terma, terutamanya untuk mengukur kekonduksian terma bahan dengan cepat yang tidak memerlukan nilai kejituan yang tinggi (Lee 1982; Siviter 1993). Kaedah klasik lebih mudah, ringkas, dan tidak menggunakan peralatan yang mahal. Tujuan kertas ini adalah untuk membincangkan hasil uji kaji kekonduksian terma bahan plastik polimer OHP yang diukur menggunakan kaedah klasik dengan peralatan yang ringkas dan mudah. Kaedah ini juga merupakan satu kaedah menentukan kekonduksian terma filem nipis polimer dengan cepat dan memberikan nilai kekonduksian terma dengan kejituan yang setanding dengan kaedah lain yang pernah dilaporkan. Bahan plastik polimer OHP dipilih dalam kajian ini kerana bahan ini diguna dengan meluas dalam bidang pengajaran dan pembelajaran dan melibatkan kekonduksian terma secara langsung.

### TEORI DAN KAEDAH PENGUKURAN

Pengukuran kekonduksian terma, melibatkan pengaliran haba dari jasad yang lebih panas kepada jasad yang lebih sejuk sehingga mencapai keseimbangan haba. Konsep tersebut menjadi asas kepada pembinaan peralatan dan kaedah pengukuran dalam kajian ini. Teori dan andaian yang digunakan dalam kajian ini adalah sama seperti dibincangkan oleh Lee (1982).

Dengan merujuk gambar rajah blok pada *Rajah 1*, konsep dan kaedah pengukuran dapat dijelaskan seperti berikut; Blok A ialah punca haba yang berada pada suhu malar  $T_1$ , manakala blok B ialah blok logam yang berada pada suhu bilik,  $T_0$ , ketika masa  $t = 0$ . S ialah sampel yang



*Rajah 1: Rajah blok, asas pengukuran kekonduksian terma*

berbentuk filem polimer nipis. Dengan andaian sampel cukup nipis, muatan haba sampel boleh diabaikan. Blok logam B juga boleh diandaikan mempunyai kekonduksian terma yang cukup besar, oleh itu taburan suhu pada blok logam B adalah dianggap sekata.

Katakan pada masa  $t = 0$ , kedua blok logam A dan B bersentuhan melalui sampel S. Oleh itu dengan andaian di atas, kadar perpindahan haba  $Q$  melalui sampel boleh ditulis sebagai (Edwards *et al.* 1979).

$$\frac{Q}{A} = K \left[ \frac{T_1 - T}{L} \right] \quad (1)$$

$K$  ialah kekonduksian terma.  $A$  luas permukaan sampel yang bersentuhan,  $L$  ialah tebal sampel dan  $T$  ialah suhu blok B ketika masa  $t$ . Katakan dalam masa  $dt$ , tenaga haba yang berpindah kepada blok B akan menyebabkan suhu blok B bertambah sebanyak  $dT$  dan pada ketika yang sama juga terjadi kehilangan tenaga haba melalui dinding blok B. Kehilangan haba melalui dinding ini boleh dianggap berkadar dengan perbezaan suhu blok dengan suhu persekitaran  $(T - T_0)$  (Edwards *et al.* 1979). Oleh itu kita boleh tulis,

$$CdT = [Q - h(T - T_0)]dt \quad (2)$$

$C$  ialah muatan haba blok B dan  $h$  ialah pekali perpindahan haba Newton iaitu faktor kehilangan haba kepada persekitaran. Penulisan persamaan (2) tidak mengambil kira kehilangan haba melalui pancaran terma dalam kes ini.

Dengan menggabungkan persamaan (1) dan persamaan (2) dan mengambil had kamiran dari  $T = T_0$  hingga  $T = T$  dan dari masa  $t = 0$  hingga  $t = t$ , kita boleh tulis persamaan berikut,

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{[(KA/L)(T_1 - T) - h(T - T_0)]} = \int_0^t \frac{dt}{C} \quad (3)$$

Seterusnya hasil kamiran persamaan (3) boleh ditulis dalam bentuk berikut

$$\left( \frac{KA}{L} \right) (T_1 - T) - h(T - T_0) = \left( \frac{KA}{L} \right) (T_1 - T_0) \exp \left[ -\frac{t}{C} \left( \left( \frac{KA}{L} \right) + h \right) \right] \quad (4)$$

Untuk  $t = \infty$ , sistem akan berada dalam keadaan kestabilan haba dan suhu blok B ditulis sebagai,  $T_\infty$ . Bila keadaan ini berlaku parameter  $h$  pada persamaan (4) boleh ditulis sebagai,

$$h = \left( \frac{KA}{L} \right) \left( \frac{T_1 - T_\infty}{T_\infty - T_0} \right) \quad (5)$$

Gantikan persamaan (5) ke dalam persamaan (4) kita seterusnya boleh tulis persamaan berikut,

$$\left(\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0}\right) = \exp\left[-\left(\frac{KA}{L}\right)\left(1 - \left(\frac{T_1 - T_{\infty}}{T_{\infty} - T_0}\right)\right)t\right] \quad (6)$$

Dari persamaan (6) ternyata bahawa perbezaan suhu ( $T_{\infty} - T$ ) adalah berubah secara eksponen dengan masa,  $t$ .

Kekonduksian terma  $K$  boleh ditentukan dari persamaan (6) dengan menulis parameter masa  $\tau_{1/2}$  sebagai masa ketika berlakunya,

$$(T_{\infty} - T) = \frac{(T_{\infty} - T_0)}{2}$$

Jadi

$$\ln(2) = \left(\frac{KA}{CL}\right)\left(1 - \left(\frac{T_1 - T_{\infty}}{T_{\infty} - T_0}\right)\right)\tau_{1/2} \quad (7)$$

atau

$$K\left(\frac{\tau}{C}\right)\left(1 - \left(\frac{T_1 - T_{\infty}}{T_{\infty} - T_0}\right)\right) = \left(\frac{L}{A}\right) \quad (8)$$

dengan  $\tau$  ditakrifkan sebagai  $(\tau_{1/2})/(\ln 2)$ . Persamaan (8) boleh dipermudahkan lagi dengan memperkenalkan satu parameter,  $R$  yang disebut rintangan haba. Dengan demikian persamaan (8) ditulis,

$$KR = \left(\frac{L}{A}\right) \quad (9)$$

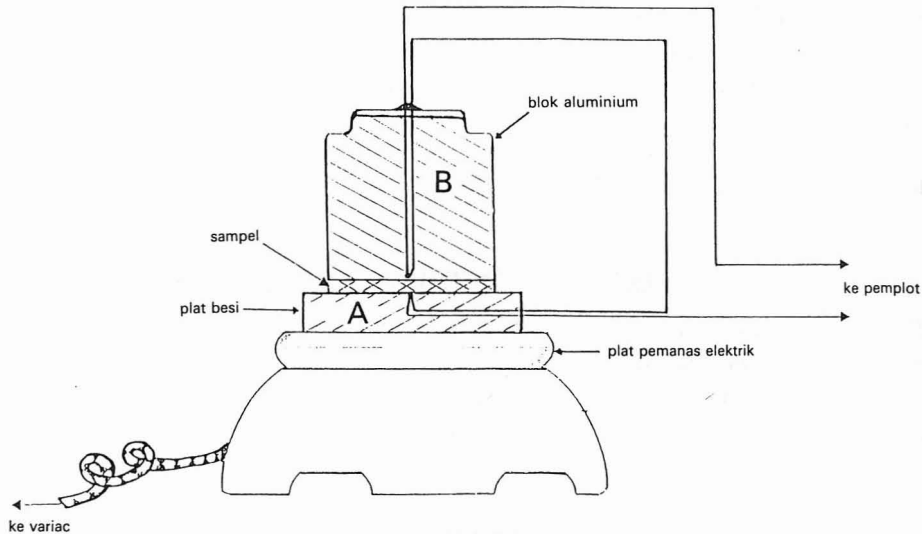
bererti

$$R = \left(\frac{\tau}{C}\right)\left(1 - \left(\frac{T_1 - T_{\infty}}{T_{\infty} - T_0}\right)\right) \quad (10)$$

Oleh yang demikian dalam kajian ini nilai kekonduksian terma ditentukan dengan memplot rintangan haba  $R$  melawan ketebalan sampel,  $L$  mengikut persamaan (9), dengan  $R$  dikira menggunakan kaitan persamaan (10). Kejituan pengukuran  $R$  dianggarkan  $\pm 0.05$

### PERALATAN DAN UJI KAJI

Susunan alat uji kaji ini ditunjukkan pada *Rajah 2*. Blok A ialah plat besi bergaris pusat 50 mm dan tebalnya 7 mm. Blok B ialah satu selinder aluminium bergaris pusat 38.2 mm dengan ketinggian 40 mm bertindak sebagai penyerap haba dari blok A melalui sampel S. Kejituan pengukuran tersebut adalah  $\pm 0.01$  mm. Sampel S diapit di antara kedua blok A dan B



Rajah 2: Susunan uji kaji pengukuran kekonduksian terma filem plastik polimer

hanya dengan bantuan berat blok B sahaja. Kepingan plat A diletakkan di atas satu plat pemanas elektrik (bergaris pusat 80 mm) yang ditetapkan suhunya pada  $T_1$ . Kedua-dua simpang termogandingan dilekatkan di tengah-tengah permukaan kepingan plat A dan blok B yang bersentuhan dengan sampel untuk mengukur perbezaan suhu kedua permukaan sampel tersebut. Kedua hujung termogandingan ini disambungkan kepada pemplot  $y - t$  (Cole-Parmer Instrum.). Termogandingan yang digunakan untuk tujuan ini ialah dari jenis, (Cu-Const.) biasa.

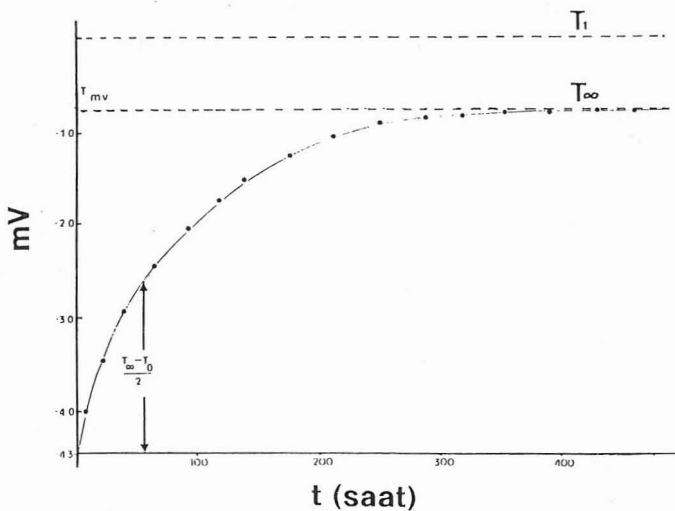
Untuk melakukan uji kaji, plat A dibiarkan berada pada suhu  $T_1$  yang malar kemudian sampel dan blok B diletak serentak di atas plat A dan perubahan suhu direkodkan oleh pemplot ( $y - t$ ). Dua jenis sampel digunakan dalam uji kaji ini, iaitu; kepingan mylar (berketebalan  $2.46 \times 10^{-4}$  m) dan kepingan plastik lut sinar OHP yang terdiri dari plastik PVC (berketebalan  $0.8 \times 10^{-4}$  m). Plastik Triacetat (berketebalan  $0.8 \times 10^{-4}$  m) dan plastik 3M infra merah (berketebalan  $0.5 \times 10^{-4}$  m). Empat warna telah dipilih untuk sampel 3M infra merah iaitu; merah, hijau, biru dan kuning. Keempat-empat sampel ini mempunyai ketebalan yang sama iaitu  $0.5 \times 10^{-4}$  m. Kesemua nilai ketebalan sampel diukur dengan menggunakan mikrometer tolak skru berkejituan  $\pm 0.01$  mm. Sampel mylar dipilih dalam kajian ini adalah untuk menguji peralatan dan kaedah pengukuran yang dilakukan berkemampuan menentukan nilai K untuk bahan polimer dengan kejituan yang setanding berbanding dengan nilai K

untuk mylar yang telah dilaporkan (Anderson and Acton 1964; Van Krevelen and Hoftyzer 1976; Edwards *et al.* 1979; Lee 1982). Untuk membolehkan rintangan haba diplot sebagai fungsi kepada ketebalan sampel (persamaan 9), beberapa keping sampel yang sama tebal dilapis berturutan satu sama lain untuk memberikan nilai  $L$  yang berbeza. Dalam kajian ini nilai  $R$  ditentukan sehingga 4 atau 5 nilai  $L$  yang berbeza. Kesemua sampel (kecuali mylar) dari jenis komersial yang didapati dipasaran.

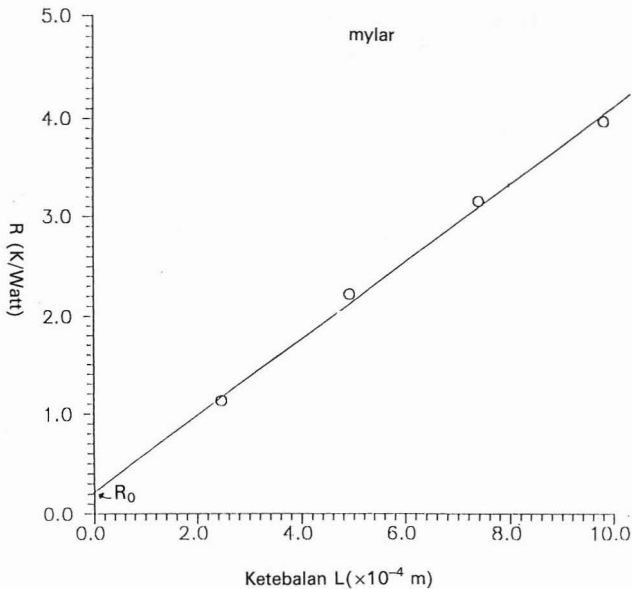
### HASIL DAN PERBINCANGAN

Rajah 3 menunjukkan contoh perubahan suhu blok logam A dan blok logam B,  $(T_A - T_B)$  sebagai fungsi kepada masa  $t$ . Perhatikan nilai  $T_\infty$  lebih kecil dari  $T_1$ . Kehilangan haba ini telah diambil kira dengan memperkenalkan parameter  $h$  dalam pengiraan kekonduksian terma pada kajian ini. Plot rintangan haba sebagai fungsi kepada ketebalan sampel  $L$  untuk kepingan mylar ditunjukkan pada Rajah 4. Garis linear didapati tidak melalui titik origin, tetapi memotong paksi  $y$  pada  $R_0$ . Di sini  $R_0$  boleh ditafsirkan sebagai rintangan haba pada ketebalan sifar. Dalam kes kajian ini rintangan  $R_0$  boleh ditafsirkan sebagai rintangan haba ruang udara antara plat A dan blok B semasa tanpa sampel dan juga ruang udara antara kepingan sampel. Oleh itu  $R_0$  tidak semestinya sama untuk setiap sampel. Untuk itu persamaan (9) boleh ditulis sebagai,

$$K(R - R_0) = \left(\frac{L}{A}\right) \tag{11}$$



Rajah 3: Contoh perubahan perbezaan suhu plat A dan blok B sebagai fungsi kepada masa,  $t$



Rajah 4: Plot rintangan terma,  $R$  fungsi kepada ketebalan plastik mylar

$(R - R_0)$  disebut sebagai rintangan haba filem polimer (sampel). Dari hasil *Rajah 4*,  $K$  untuk mylar didapati bernilai  $(0.212 \pm 0.005) \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Nilai ini bersetuju dengan nilai kekonduksian terma yang dilaporkan oleh (Anderson and Acton 1964; Van Krevelen and Hoftyzer 1976; Lee 1982).

Nilai kekonduksian terma,  $K$  dan anggaran kejituan  $\pm \Delta K$  untuk sampel yang dikaji yang ditentukan dari graf rintangan haba  $(R - R_0)$  lawan ketebalan sampel,  $L$  disenaraikan pada Jadual 1 bersama-sama dengan nilai kekonduksian terma mylar yang telah dilaporkan sebelum ini (Anderson dan Acton 1964; Van Krevelen dan Hoftyzer 1976; Lee 1982). Keseluruhan hasil dari kajian ini menunjukkan bahawa rintangan terma berkadar dengan ketebalan sampel. Dengan andaian perkadaran ini berlaku sehingga ketebalan  $5 \times 10^{-4}$  m untuk ketiga-tiga sampel filem plastik lut sinar, OHP, perbandingan nilai rintangan haba dan kekonduksian terma dapat ditunjukkan seperti pada *Rajah 5*. Perbezaan sifat terma bahan polimer komersial adalah bergantung kepada beberapa aspek; seperti berat molekul dan taburan, darjah kehabluran, orientasi rantai molekul, darjah sambung lintang molekul dan bahan-bahan tambahan lain (Lee 1982). Oleh itu hasil dalam Jadual 1 tidak mengambil kira faktor-faktor tersebut di atas.

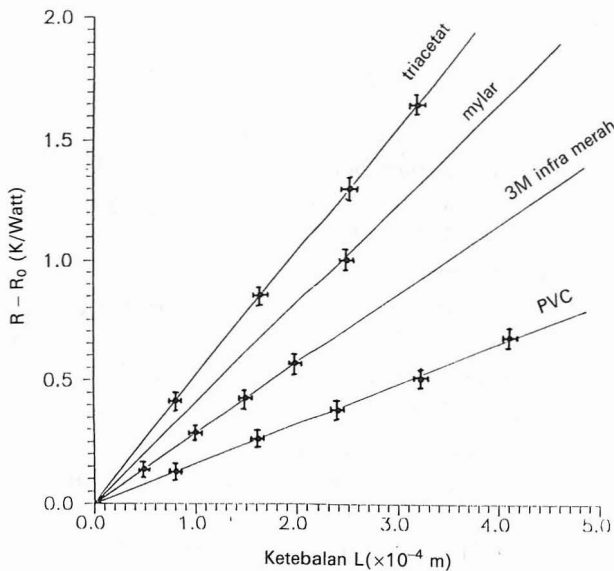
## PENGHARGAAN

Pengarang ingin merakamkan terima kasih kepada En. Mohd. Arif Agam atas pertolongan mengambil data dan membuat analisis. Penghargaan ini

**JADUAL 1**  
 Senarai nilai K untuk sampel mylar dan plastik OHP yang diukur dalam kajian ini bersama-sama dengan nilai K uji kaji untuk mylar yang pernah dilaporkan

Sampel	Nilai K Uji Kaji ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Nilai K Rujukan ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
Plastik PVC	$0.567 \pm 0.005$	—
Plastik 3M infra merah	$0.312 \pm 0.005$	—
Plastik mylar	$0.212 \pm 0.005$	$0.189 \pm 0.004$ (a)
		0.218 (b)
		0.142 (c)
		$0.143 - 0.148$ (d)
Plastik triacetat	$0.171 \pm 0.005$	—

a. Lee (1982), b. Van Krevelen and Hoftzyer (1976), c. Anderson and Acton (1964), d. Edwards *et al.* (1979).



Rajah 5: Perbandingan rintangan terma bahan ( $R - R_0$ ): plastik; triacetat, mylar, 3M infra merah dan PVC.

juga dirakamkan kepada Jabatan yang telah menyediakan kemudahan untuk tujuan uji kaji ini dilakukan dengan sempurna.

### RUJUKAN

ANDERSON, D.R. and R.U. ACTON. 1964. Thermal properties. In *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, ed. H.F. Mark, N.G. Gayloard and N.M. Bikales. New York: Interscience.



- DARBY, M.I., S.D. PRESTON and G. WHITAKER. 1988. Analysis of heat pulse thermal diffusivity measurements on four-layer samples. *J. Phys. D, Appl. Phys.* **21**: 1146-1150.
- EDWARDS, D.K., V.E. DENNY and A.F. MILLS. 1979. *Transfer Processes, An Introduction to Diffusion, Convection and Radiation*. 2nd edn. New York: McGraw-Hill.
- FOX, J.N., N.W. GAGGINI and R. WANG SANI. 1987. Measurement of the thermal conductivity of liquids using a transient hot wire technique. *Am. J. Phys.* **55**: 272-274.
- GOLOMBOK, M. and L.C. SHIRVILL. 1986. Laser flash thermal conductivity studies of porous metal fiber materials. *J. Appl. Phys.* **63**: 1971-1976.
- GUMMOW, R.J. and I. SIGALAS. 1988. Generalised hot-wire technique for high pressure thermal conductivity measurements. *J. Phys. E: Sci. Instrum.* **21**: 442-445.
- JONES, B.W. 1988. Thermal conductivity probe: Development of method and application to a coarse granular medium. *J. Phys. E, Sci. Instrum.* **21**: 832-839.
- LEE, H. 1982. Rapid measurement of thermal conductivity of polymer films. *Rev. Sci. Instrum* **53**: 884-887.
- LOG, T. 1993. Transient one-dimensional heat flow technique for measuring thermal conductivity of solids. *Rev. Sci. Instrum.* **64**: 1956-1960.
- SIVITER, J.P. 1993. A quick and simple way to measure the thermal conductivity of poor conductors. *Phys. Educ.* **28**: 254-255.
- VAN KREVELEN, D.W. and P.J. HOFYZER. 1976. *Properties of Polymer, Their Estimation and Correction with Chemical Structure*. 2nd edn. New York: Elsevier.