

**PENGUKURAN KONDUKTIVITAS PANAS MATERIAL BATA API  
MENGUNAKAN SISTEM HOTE PLATE BERBASIS ARDUINO**

**MEASUREMENT OF THERMAL CONDUCTIVITY OF FIRE BRICK USING  
HOT PLATE SYSTEM BASE ON ARDUINO**

**<sup>1</sup>Mulyadi, <sup>2</sup>Djuhana, <sup>3</sup>Fifit Astuti**

*Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang Tangerang Selatan*  
email : <sup>1</sup>dosen01545@unpam.ac.id; <sup>2</sup>djuhana282@gmail.com; <sup>3</sup>fifitastuti1@gmail.com

**ABSTRACT**

*Fire brick material is classified as a material that is widely used for furnace construction, in its use it is necessary to know the properties of the fire brick material, such as its density, mechanical strength and thermal properties. Thermal properties of fire bricks include, among others: temperature resistance or melting point and thermal conductivity. The purpose of this study was to determine the value of the thermal conductivity of fire bricks through measurements with a hot plate system. The method of measuring heat conductivity is by using a hot plate heating system with a temperature reading system using an Arduino Uno. The measurement was done by setting the temperature on the control panel with a setting temperature of 300°C, then observing the temperature distribution on the surface of the sample in contact with the hot plate and observing the temperature above the test sample exposed to the air. Based on the results of temperature observations and temperatures taken at steady state conditions, the results at steady state conditions are obtained within 210 seconds at a temperature of = 300°C. Furthermore, the thermal conductivity value of a fire brick is calculated using the conduction heat transfer equation, so the heat conductivity value is = 2.00 W/m K.*

**Keywords :** *thermal conductivity, fire brick, arduino uno, hot plate*

**ABSTRAK**

Material bata api tergolong material yang banyak di gunakan untuk konstruksi tungku pembakaran, dalam penggunaannya perlu diketahui sifat bahan tersebut, seperti misalnya densitas, kekuatan mekanik dan sifat termal nya. Sifat termal bata api meliputi antara lain: ketahanan suhu atau titik leburnya dan konduktivitas panas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai konduktivitas panas bahan bata api melalui pengukuran dengan sistem *hot plate*. Metoda pengukuran konduktivitas panas yang dilakukan adalah dengan menggunakan sistem pemanas *hot plate* dengan sistem pembacaan suhu menggunakan sistem berbasis arduino uno. Pengukuran dilakukan dengan *setting* temperatur di panel kontrol dengan suhu *setting* 300°C, kemudian diamati distribusi suhu pada permukaan sampel yang kontak dengan *hot plate* dan pengamatan suhu diatas sampel uji yang terekspose di udara. Berdasarkan hasil pengamatan suhu dan diambil suhu pada kondisi *steady state*, maka hasil pada kondisi *steady state* diperoleh dalam waktu 210 detik pada suhu = 300°C. Selanjutnya dihitung nilai konduktivitas panas bata api menggunakan persamaan perpindahan panas konduksi maka diperoleh nilai konduktivitas panas nya adalah sebesar =2,00 W/m K.

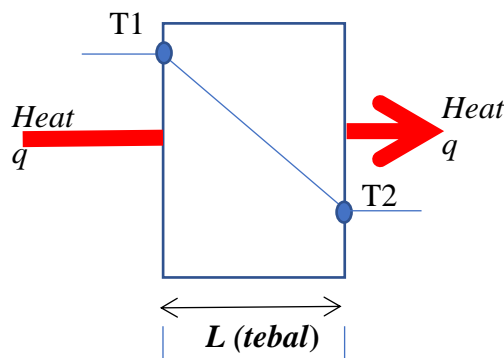
**Kata Kunci :** *konduktivitas panas, bata api, arduino uno, hot plate*

## PENDAHULUAN

Perpindahan panas atau proses *heat transfer* merupakan suatu proses pada suatu material untuk memindahkan panas dari satu materi ke materi lainnya, bahwa proses perpindahan panas dapat terjadi apabila ada perbedaan suhu. Penelitian yang berkaitan dengan perpindahan panas pada suatu material sangatlah penting untuk mengetahui kemampuan hantar panas pada suatu material, dimana penghantaran panas melalui suatu material padatan dikatakan sebagai penghantar panas secara konduksi.

Koefisien konduktivitas panas merupakan parameter untuk mengetahui kemampuan suatu benda menghantar panas yang baik atau berfungsi sebagai peredam atau isolator panas [J. P. Holman, 2010]. Beberapa metode untuk mengukur koefisien konduktivitas panas telah dikembangkan antara lain: metoda hot plate, Needle probe, Lee's apparatus, dan laser flash [Kevin Graham Harding, (2018); Md. Hamidur Rahman et al 2015]. Metode Needle Probe merupakan suatu metode dalam pengukuran konduktivitas panas atas dasar hukum kedua termodinamika yang menyatakan bahwa perpindahan panas hanya terjadi dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah bertemperatur rendah [Kevin Graham Harding, (2018)].

Dalam proses konduksi, apabila medium cepat menghantarkan panas, maka kenaikan suhu akan berlangsung dengan cepat, sebaliknya apabila medium lambat menghantarkan panas maka kenaikan suhu akan berjalan lambat. Pada Gambar 1 diperlihatkan sistem perpindahan panas pada sebuah dinding dengan ketebalan  $L$  dan perpindahan panas ( $q$ ) dari dinding bersuhu  $T_1$  ke dinding bersuhu  $T_2$



Gambar 1. Konduksi panas pada sebuah dinding [Frank Kreith et al, 2011]

Perpindahan panas secara konduksi satu dimensi melalui padatan diatur oleh hukum Fourier, yang dalam bentuk satu dimensi dapat dinyatakan sebagai, di mana  $q$  adalah laju perpindahan kalor dan  $dT/dx$  merupakan perbedaan suhu ke arah

perpindahan kalor. Konstanta positif  $k$  disebut koefisien konduktivitas atau thermal conductivity coefficient benda itu, sedangkan tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu [J. P. Holman, 2010]. Perpindahan kalor konduksi satu dimensi melalui padatan diatur oleh hukum Fourier, yang dalam bentuk satu dimensi dapat dinyatakan sebagai berikut [Jozef T. Devreese et al, 2014] :

$$q = -k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

Berdasarkan persamaan (1) maka nilai konduktivitas panas ( $k$ ) sebuah bidang datar dapat di tentukan menggunakan persamaan [Jozef T. Devreese,dkk 2014]:

$$q = \frac{k x A x (T1-T2)}{L} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana  $q$  adalah laju perpindahan panas (W);  $k$ , konduktivitas panas (W/m°C);  $A$ , luas perpindahan panas (m<sup>2</sup>);  $L$  = tebal dinding (m); dan  $(T1-T2)$ = perubahan suhu (°C). Untuk menentukan nilai konduktivitas panas dari dua material yang berbeda, dimana salah satu material telah diketahui nilai konduktivitas panas nya ( $k_r$ ) sebagai referen maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut [Jozef T. Devreese,dkk 2014]:

$$- \frac{k_r \cdot A_r \cdot \Delta T_r}{L_r} = - \frac{k_{uji} \cdot A_{uji} \cdot \Delta T_{uji}}{L_{uji}} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- $k_r$  = kundiktivitas panas referensi
- $A_r$  = luas permukaan referensi
- $\Delta T_r$  = perbedaan suhu bahan referensi
- $L_r$  = tebal bahan referensi
- $k_{uji}$  = kundiktivitas panas benda uji
- $A_{uji}$  = luas permukaan benda uji
- $\Delta T_{uji}$  = perbedaan suhu bahan pada benda uji
- $L_{uji}$  = tebal bahan benda uji

Bata api merupakan material yang tergolong material tahan panas atau disebut material refraktori, yang dibuat dari bahan berbasis material keramik, bata api tergolong material berat dengan densitas sekitar 3,2 – 3,7 g/cm<sup>3</sup>, dan memiliki level titik liber

yang cukup bervariasi. Beberapa sifat termal yang menjadi sifat utama dalam aplikasi bata api, seperti misalnya berapa banyak fluks panas yang akan mengalir melalui bagian benda tahan api akan ditentukan oleh nilai konduktivitas panas dari material tersebut [Md. Hamidur Rahman et al 2015].

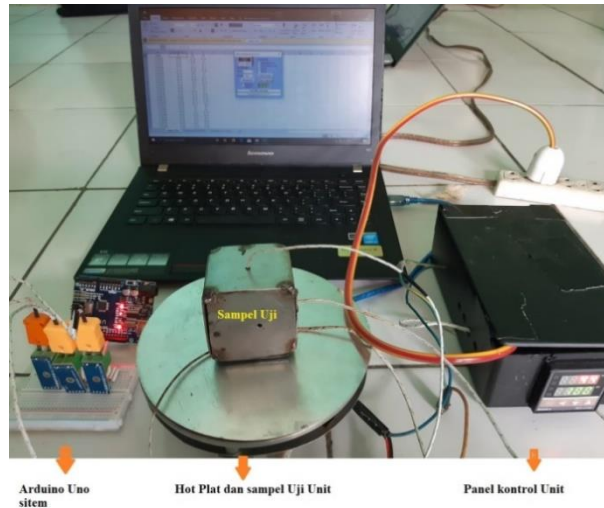
Berdasarkan titik lebur maka klasifikasi bata api dapat digolongkan menjadi beberapa tipe antara lain bata api SK 32 (SR 90), SK 34(SR 99) dan SK 36(SR 99L), dimana material bata api tersebut memiliki nilai konduktivitas panas sekitar 2,38 – 2,56 W/m.C untuk tipe SR 90 [[https://www.morganadvancedmaterials.com/media/2980/sr-90\\_sr-99\\_sr-99\\_ls\\_firebrick.pdf](https://www.morganadvancedmaterials.com/media/2980/sr-90_sr-99_sr-99_ls_firebrick.pdf); 25 Agustus 2020]. Semakin tinggi angka SK nya maka ketahanan suhu bata api tersebut semakin besar, misalnya bata api SK 32 hanya bisa digunakan pada suhu dibawah 1000°C, sedang bata api SK 36 bisa digunakan sampai suhu diatas 1000°C dan maksimum suhu 1600°C. Material refraktori memiliki peran penting dalam berbagai perkembangan ilmu pengetahuan dan proses industri termasuk industri semen, kaca dan keramik dan lain-lain sesuai dengan sifatnya.

Arduino adalah sebuah platform open source elektronik yang mudah digunakan baik dari sisi hardware maupun software, yang aplikasinya salah satunya untuk pembacaan suhu in real *time*. Arduino sangat mudah di gunakan, baik untuk pemula maupun yang sudah expert di bidang *embedded system*. Memprogram IC Program ( Mikrokontroler ) kebanyakan masih menggunakan bahasa *assembly*, bahasa assembly ini butuh beberapa puluh baris program. Namun jika menggunakan Arduino, memprogram sensor hanya beberapa baris program saja, bahkan hampir semua sensor yang di jual sudah memiliki library nya. Jadi mengolah data sensor cukup sederhana dan mudah. Kelebihan Arduino yaitu software yang free, open source, dan banyak pengembang nya. Cross platform, sudah tersedia software Arduino nya untuk MAC OS, Windows, Linux, bahkan Android sekali pun sudah ada compiler Arduino. Jauh berbeda dengan software berbayar seperti codevision, microe C dan lain lain. Harga yang mahal dan belum cross platform. Penelitian ini dilakukan pengukuran nilai konduktivitas panas material bata pai SK 32 dengan rentang suhu pengukuran dari suhu ruang sampai suhu 300°C menggunakan metoda *hot plate system*.

## **METODE PENELITIAN**

Tahapan penelitian yang dilakukan ada dua tahapan yaitu pada tahap awal dilakukan persiapan sistem alat ukur konduktivitas panas dengan sistem hot plate

dennga berbasis arduino serta mempersiapkan sampel uji berupa bata api SK 32. Selanjutnya dilakukan tahap kedua yaitu pengukuran sampel uji. Sistem rangkaian alat uji konduktivitas panas dapat diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem alat ukur konduktivitas panas

Kegiatan ini dengan melakukan uji coba pengoperasian alat ukur konduktivitas panas dengan mengkoneksikan ke komputer agar data-data pembacaan suhu dapat terekam pada komputer. Sebelum dilakukan uji coba terlebih dahulu mendownload software arduino uno dan melakukan setting operasional nya, seperti terlihat pada gambar 3.

```
serialthermocouple | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help
serialthermocouple
// this example is public domain. enjoy!
// www.ladyada.net/learn/sensors/thermocouple

#include "max6675.h"

int thermoDO = 4;
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 6;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int vccPin = 3;
int gndPin = 2;

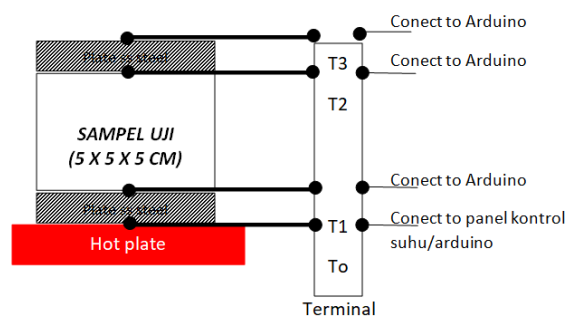
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // use Arduino pins
  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

  Serial.println("MAX6675 test");
}
```

Gambar 3. Setting program arduino uno

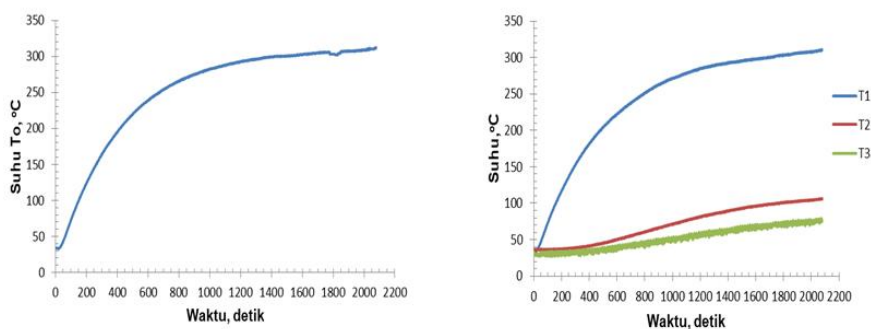
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran nilai konduktivitas panas digunakan sampel uji material bata api, ada empat titik pengukuran suhu yaitu suhu dibagian bawah plat ss steel ( $T_0$ ), suhu di bagian bawah sampel uji ( $T_1$ ), suhu diatas permukaan benda uji ( $T_2$ ) dan suhu diatas permukaan atas plat SS steel ( $T_3$ ). Fungsi penggunaan plate SS 304 dengan tebal 3 mm pada pengukuran ini adalah plat SS 304 tersebut sebagai fungsi penghantar panas dari hot plate (sumber panas) ke material bata api, dan penghantar panas dari bata api ke permukaan luar plate tersebut. Lay out titik pengukuran suhu diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Layout titik pengukuran suhu

Pengamatan data suhu  $T_0$ ,  $T_1$  sampai dengan suhu  $T_3$  dilakukan setiap detik dari suhu ruang sampai mencapai suhu setting ( $T_0$ ) mencapai suhu  $300^{\circ}\text{C}$ . Hasil Grafik pengukuran suhu sebagai fungsi waktu diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva hubungan suhu  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  dan  $T_3$  terhadap waktu

Berdasarkan data dari grafik di Gambar 11 dapat diperoleh nilai suhu masing-masing yang diambil berdasarkan kondisi *steady state*, dan hasilnya di perlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai suhu pengukuran pada kondisi *steady state*.

Suhu	Nilai, $^{\circ}\text{C}$
------	---------------------------

To	312,00
T1	310,50
T2	106,5
T3	75,25

Berdasarkan referensi nilai konduktivitas panas SS 304 plate steel adalah = 16,35 W/m°C [https://www.dm-consultancy.com/TR/dosya/1-59/h/aisi-340-info.pdf, 25 Agustus 2020] , maka nilai konduktivitas panas dari sampel uji material fire brick dapat di hitung berdasarkan persamaan 3.

$$-\frac{k_r \cdot A_r \cdot \Delta T_r}{L_r} = -\frac{k_{uji} \cdot A_{uji} \cdot \Delta T_{uji}}{L_{uji}}$$

dimana

- kr = kundiktivitas panas referensi (ss plate steel) = 16,35 W/cm°C
- Ar = luas permukaan ss plate steel = 0,05 x 0,05 = 0,0025 m<sup>2</sup>.
- ΔTr = perbedaan suhu bahan ss plate steel di bagian bawah  
= To – T1 = 312,00 - 310,50 = 1,50
- Lr = tebal bahan ss plate steel 3 mm = 0,003 m
- k uji = kundiktivitas panas fire brick
- A uji = luas permukaan fire brick= 5 x 5 = 25 cm<sup>2</sup>.
- ΔT uji = perbedaan suhu bahan pada fire brick  
= T1 – T2 =310,50 -106,50 = 204
- L uji = tebal bahan fire brick = 5 cm = 0,05 m

Maka dengan menggunakan persamaan 3, dapat dihitung nilai konduktivitas panas (k uji) sampel uji sebagai berikut :

$$\frac{16,35 \times 0,0025 \times 1,50}{0,003} = \frac{k_{uji} \times 0,0025 \times 204}{0,05}$$

Maka dari persamaan tersebut dapat diperoleh nilai k fire brick = k uji = 2,00 W/m C, bila dibandingkan dengan nilai konduktivitas panas fire brick dari referensi adalah sekitar 2 – 3 W/m°C [Edwin Ruh, et al, 2006], maka terjadi perbedaan hasil pengukuran ekitar 15- 20 % bila dibandingkan hasil penelitian ini dengan nilai dari referensi.

## **KESIMPULAN**

Telah dilakukan perakitan sistem alat uji konduktivitas panas dengan menggunakan arduino uno untuk pembacaan suhu pengukuran. Hasil pengukuran yang diperoleh bahwa telah tercapai suhu pada kondisi steady state 300°C yang dicapai dalam waktu 210 detik. Hasil pengukuran konduktivitas termal dari fire brick SK 32 diperoleh nilai konduktivitas panas nya adalah =2,00 W/m C

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Kami ucapkan terima kasih kepada LPPM Unpam dan Ketua yayasan sasmita jaya Grup yang telah mendukung dan memfasilitasi seluruh kegiatan penelitian ini sebagai penelitian internal dosen dan juga kami ucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Unpam yang telah memfasilitasi sarana peralatan di Laboratorium Teknik Mesin Unpam.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Edwin Ruh, J. Spotts, Mc Dowell, (2006) Thermal Conductivity of Refractory Brick, *Journal of the American Ceramic Society* 45(4):189 – 195.
- Frank Kreith, Raj M. Manglik , Mark S. (2011) Principles of HEAT TRANSFER, Seventh Edition, Cengage Learning 200 First Stamford USA.
- J. P. Holman, (2010) Heat ttransfer , Tenth Edition, Mcgraw-Hill series in mechanical engineering.
- Halauddin (2006) Pengukuran Konduktivitas Termal Bata Merah Pejal, *Jurnal Gradien* Vol. 2 No.2 : 152-155.
- <https://www.dm-consultancy.com/TR/dosya/1-59/h/aisi-340-info.pdf>; Stainless Steel - Grade 304, August 2020.
- [https://www.morganadvancedmaterials.com/media/2980/srr-90\\_sr-99\\_sr-99\\_ls\\_firebrick.pdf](https://www.morganadvancedmaterials.com/media/2980/srr-90_sr-99_sr-99_ls_firebrick.pdf); 25 Agustus 2020.
- Jozef T. Devreese ,Roger P. Evrary , Stig Lundqvist, Gerald D. Mahan, Norman H. Marc, Hand book “(2004) Thermal Conductivity Theory, Properties, and Applications, Kluwer Academic / Plenum Publishers New York.
- Kevin Graham Harding, (2018) Heat Transfer, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- Md. Hamidur Rahman, Md.Tariqul Islama, Tamzid Ibn Minhaja, M.A.K. Azada, Md.Mehedi Hasana and A.A.Md. Rezaul Haque, (2015) Study of Thermal Conductivity and Mechanical Property of Insulating Firebrick Produced by Local Clay and Petroleum Coal Dust As Raw Materials, *Procedia Engineering* 105 pp. 121 – 128.
- Peter von Böckh, Thomas Wet el (2012) Heat Transfer Basics and Practice, Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
- Ron Zevenhoven Heat transfer, (2014) Introduction to Process Engineering v.2014.
- Sri Wuryanti dan Purwinda Iriani (2018) Investigasi Experimental Konduktivitas Panas Pada Berbagai Logam, *JlIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)* Vol. 02, No. 01.