

UJI KONDUKTIVITAS TERMAL TANAH LIAT SEBAGAI MEDIA ISOLATOR PANAS ALAT PEMANGGANG PEMPEK

Abdul Muin¹, M. Lazim², Sukarmansyah³, Rita Maria Veranika⁴

Email Korespondensi: amuin7959@gmail.com

Abstrak: Isolator merupakan bagian yang tidak dapat terlepas dari permasalahan termal. Isolator bersifat mampu menahan laju energi panas pada saat melaluinya. Di Palembang ada salah satu makanan yang namanya pempek panggang. Dimana bahannya terbuat dari adonan pempek, agar dapat dimakan maka adonan ini harus dipanggang. Pemanggangan dilakukan pada suatu wadah terbuat dari besi yang dilapis isolator, biasanya isolator yang dipergunakan adalah tanah liat dengan tujuan agar panas pemanggangan pempek tidak banyak terbuang keluar. Disini telah dilakukan pengujian untuk mengetahui besar harga k (konduktivitas) tanah liat. Prinsip pengujian yang dilakukan dengan menyiapkan 3 bahan yang berbentuk lingkaran, yaitu besi, tanah liat besi. Dalam pengujian ketiga bahan tersebut disusun berurutan yaitu besi, tanah liat dan besi yang kemudian dipanaskan dengan bola listrik dengan daya 200 Watt dibiarkan selama 10 menit. Setelah itu besi dan tanah liat tersebut diukur suhunya baik pada sisi atas maupun sisi bawah, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil bahwa konduktivitas termal tanah liat diperoleh berturut-turut yaitu 1,7916 W/m.K, 1,6538 W/m.K dan 1,7200 W/m.K dan rata-ratanya adalah sebesar 1,7218 W/m.K.

Kata kunci: isolator, alat pemanggang, tanah liat, konduktivitas termal, perpindahan panas

Abstract: *Insulator is a part that cannot be separated from thermal problems. The insulator is able to withstand the rate of heat energy when passing through it. In Palembang, there is a food called grilled pempek. Where the material is made from pempek dough, so that it can be eaten, this dough must be baked. Baking is done in a container made of iron which is coated with an insulator, usually the insulator used is clay with the aim that the heat of pempek baking is not wasted a lot. Here a test has been carried out to find out the value of k (conductivity) of clay. The principle of the test is carried out by preparing 3 materials in the shape of a circle, namely iron, iron clay. In the test the three materials were arranged sequentially, namely iron, clay and iron which were then heated with an electric ball with a power of 200 Watt and left for 10 minutes. After that the temperature of the iron and clay was measured both on the top side and the bottom side, the test was carried out 3 times. From the results of the tests that have been carried out, the results show that the thermal conductivity of the clay is obtained successively, namely 1.7916 W/m.K, 1.6538 W/m.K and 1.7200 W/m.K and the average is 1.7218 W/m.K*

Keywords: *insulator, baking tools, clay, thermal conductivity, heat transfer*

^{1,2,3,4} *Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti.*

PENDAHULUAN

Sumatera Selatan adalah sebuah Provinsi dimana ibukotanya adalah Palembang. Provinsi ini umumnya kota Palembang terkenal dengan kulinernya, yang sering disebut orang Pempek, Kemplang dan lain-lain yang terbuat dari campuran tepung terigu dan ikan. Pempek ini sudah terkenal tidak hanya didalam negeri tetapi juga sudah terkenal di mancanegara. Kuliner ini bahan baku utamanya adalah tepung sagu/kanji, ikan, garam. Jenis-jenis pempek yang terkenal adalah kapal selam, adaan, pempek telur kecil, lenjer, pistel, pempek panggang. Dalam penyajiannya pempek tersebut ada yang

direbus/kukus, goreng dan dipanggang sering disebut pempek panggang.

Pempek panggang banyak dijual di pangkalan-pangkalan tempat keramaian dengan menggunakan gerobak dorong. Gerobak tersebut dilengkapi dengan tungku pemanggang pempek. Tungku terbuat dari kual/wajan yang dilapisi tanah liat dibagian sisi luar, yang dimaksudkan sebagai bahan isolator panas pembakaran untuk pemanggangan. Pelapisan tanah liat ini cukup ekonomis bagi penjual pempek panggang dan bila diperhatikan panas bara arang pembakaran cukup berhasil dalam menahan laju kehilangan panas pembakaran.

Disebabkan oleh hal tersebut, maka disini penulis tertarik untuk meneliti konduktivitas

termal tanah liat yang khusus dipergunakan dalam isolator alat pemanggang pempek panggang di kota Palembang.

LANDASAN TEORI

Setiap bahan (material) memiliki karakteristik yang berbeda-beda, meliputi sifat fisis, sifat mekanis dan sifat kimiawi. Sifat fisis yang dimiliki suatu bahan yang dapat kita amati secara langsung, sedangkan untuk mengetahui sifat mekanik dan kimiawinya itu tidak bisa dilihat secara langsung, maka haruslah dilakukan percobaan untuk mengetahuinya. Salah satu sifat fisis adalah sifat kemampuan penghantaran panas. Dikenal ada tiga prinsip perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Untuk mengetahui seberapa cepat perubahan suhu yang dapat berubah pada sebuah benda, maka harus dilakukan pengujian, khususnya pada pengujian disini yaitu untuk menentukan konduktivitas termal bahan tersebut.

A. Perpindahan panas

Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu system yang memiliki temperatur lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan 3 (tiga) cara (Kreith dan Prijono, 1997), yaitu:

1. Konduksi
2. Konveksi (alami dan paksa) dan
3. Radiasi

Konduksi panas adalah yang terjadi didalam benda padat. Proses perpindahan panas dari benda yang suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah: Laju aliran panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas permukaan benda, suhu awal dan akhir antara ujung-ujung benda, dan konduktivitas panas dari benda. Kemampuan bahan menghantarkan panas dikenalk dengan istilah Konduktivitas panas bahan. (Holman, 1987).

Konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah bagian yang utama terjadinya perpindahan panas konveksi.

Radiasi adalah perpindahan kalor melalui gelombang. Semua benda memancarkan kalor.

Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantara foton, dengan gelombang secara elektromagnet.

B. Perpindahan Panas Konduksi

Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Energi berpindah secara konduksi atau hantaran dan laju perpindahan panas itu berbanding dengan gradien suhu normal.

Ungkapan kuantitatif hubungan antara laju perpindahan panas satu dimensi kearah x, dengan gradien temperatur dan sifat-sifat medium penghantarnya dinyatakan dalam persamaan Fourier sebagai berikut :

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

dinama :

q : laju aliran kalor kearah x (watt)
 A : luasan normal terhadap arah aliran kalor (m^2)

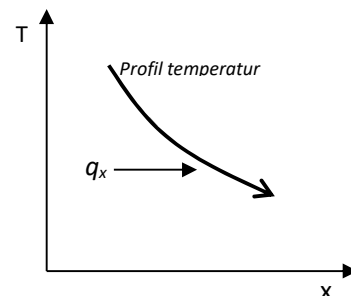
$\frac{dT}{dx}$: gradien temperatur kearah x (K/m)

K : konduktivitas termal bahan (W/m.K)

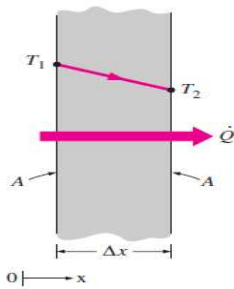
Tanda (-) menunjukkan kenyataan bahwa aliran kalor dengan konduksi terjadi ke arah gradien temperatur yang menurun.

C. Konduktivitas Thermal (k)

Konduktivitas thermal (k) adalah sifat fisik bahan untuk dapat menahan laju penghantaran panas. Persamaan diatas merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan persamaan 1, dapat dilakukan pengukuran untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada suhu.

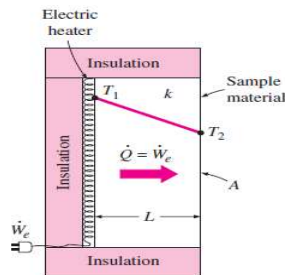


Gambar 1. Profil Temperatur



Gambar 2. Distribusi suhu untuk konduksi keadaan stedi

Bila gradien suhu yang terjadi dalam sebuah benda, seperti halnya yang ditunjukkan dalam gambar 2.2 yang memiliki temperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Peristiwa ini disebut dengan perpindahan panas secara konduksi (*conduction*) dan laju



Gambar 3. Instalasi Sederhana Pengujian Konduktivitas Termal Bahan

Bahan yang memiliki konduktivitas termal besar merupakan konduktor yang baik dan sebaliknya bahan yang memiliki konduktivitas kecil merupakan konduktor yang jelek. Pada tabel 1 diberikan nilai k untuk berbagai bahan. Tabel 1. Konduktivitas termal untuk berbagai bahan (Zemansky, 2002).

Tabel 1. Konduktivitas termal untuk berbagai bahan

Material	Thermal conductivity	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
Metals:		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
Nonmetallic solids:		
Diamond	2300	1329
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.08–2.94	1.2–1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Hard rubber	0.15	0.087
Polyvinyl chloride	0.09	0.052
Styrofoam	0.033	0.019
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Ice	2.22	1.28
Liquids:		
Mercury	8.21	4.74
Water	0.556	0.327
Ammonia	0.540	0.312
Lubricating oil, SAE 50	0.147	0.085
Freon 12, CCl ₂ F ₂	0.073	0.042
Gases:		
Hydrogen	0.175	0.101
Helium	0.141	0.081
Air	0.024	0.0139
Water vapor (saturated)	0.0206	0.0119
Carbon dioxide	0.0146	0.00844

A. Alat dan Bahan Percobaan

Bahan yang digunakan untuk membuat dan merakit serta untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Selinder/lempeng tanah liat sebanyak satu keping.
2. Selinder/lempeng baja sebanyak dua keping.
3. Bola lampu pijar, 100 watt
4. Isolator, ukuran 30 cm x 30 cm
5. Aluminium foil.

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah:

1. Display thermocouple wire
2. Thermometer glas 1000C,
3. Stopwatch sebanyak digunakan menghitung waktu pemanasan.

B. Pembuatan Peralatan Uji

Setelah seluruh bahan dan alat yang dibutuhkan telah lengkap dilanjutkan dengan pembuatan alat uji, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Karet isolator dibuat berbentuk silinder dengan sama ukuran dengan silinder selinder baja dan selinder tanah liat, bagian dalam tabung dilapisi dengan aluminium foil.
2. Seluruh silinder yang telah dibuat posisinya diatur, dimana dibagian bawah sekali adalah baja, diatasnya tanah liat, dan paling atas dipasang selinder baja.
3. Diantra selinder baja dan selinder tanah liat dipasang wire thermocouple, yang berfungsi untuk mengukur suhu diantra keduanya
4. Selesai pemasangan alat uji pada tabung yang terisolasi dari pengaruh lingkungan dengan pemanas bola lampu pijar 100 watts
5. Setelah semua peralatan uji terpasang dengan baik dilanjutkan dengan pengujian dan pengambilan data.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dan pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

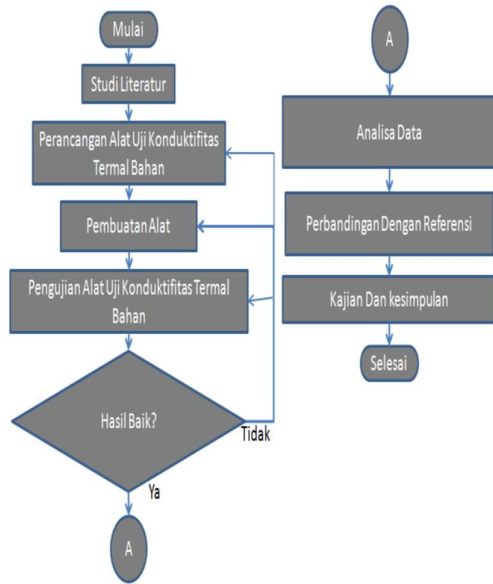
1. Siapkan dan periksa semua peralatan.
2. Jika semua siap, pertama nyalakan lampu, bersama dengan itu hiduppkan stopwatch untuk menghitung waktu pemanasan.
3. Jika panas telah steady yaitu kalor telah mengalir merata memanasi selinder baja bagian bawah, selinder tanah liat dan selinder baja bagian atas yang ditunjukkan oleh display thermocouple dimana suhu relatif

tidak berubah secara besar. Maka seluruh suhu dari T1 sampai T4 dicatat dan ditabelkan termasuk waktu pemnasan.

- Prosedur diatas dilakukan sebanyak lima kali, setelah suhu kembali menunjukkan suhu kamar atau suhu normal.

D. Diagram Alir Pengujian

Secara umum penelitian tersebut dapat dilihat dari diagram alir di bawah ini.

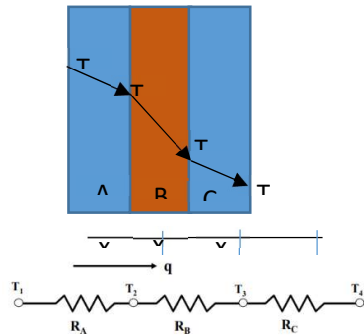


Gambar 4. Diagram Alir Pengujian

PEMBAHASAN DAN ANALISA

A. Data-data Spesimen Uji dan Data Hasil Pengujian

Medium bidang datar yang menkonduksikan panas umumnya tidak tunggal, tetapi terdiri atas beberapa lapis. Terlihat seperti gambar 4.1. dibawah ini :



Gambar 5. Medium bidang datar dan Analogi listrik

Dengan mengasumsikan temperatur pada sisi kiri lapisan A lebih tinggi daripada sisi kanan lapisan B, maka akan mengalir panas diri arah kiri menuju kanan.

Laju aliran panas yang melalui lapisan I dirumuskan sebagai :

$$Q = -\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2) = -\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3)$$

Dimana : A = Bahan baja

Tebal (Δx_A) = 10 mm = 0,001 m

k_A = konduktivitas bahan baja = 43 W/m.°C

d_A = Diameter = 0,125 m

B = Tanah liat

Tebal (Δx_B) = 20 mm = 0,002 m

k_A = Konduktivitas tanah liat akan dicari

d_A = Diameter = 0,125 m

C = Sama dengan bahan B = Bahan baja

Tebal (Δx_A) = 10 mm = 0,001 m

k_A = konduktivitas bahan baja = 43 W/m.°C

d_A = Diameter = 0,125 m

Luas bidang untuk semua adalah (A) = $\frac{\pi}{4} d^2$

$$= \frac{\pi}{4} (0,125)^2 \text{ m}^2 = 0,123 \text{ m}^2$$

Tabel 2. Hasil Pengambilan Data Temperatur Pengujian

No. Pengujian	T ₁ (°C)/K	T ₂ (°C)/K	T ₃ (°C)/K	T ₄ (°C)/K
1	91/364	90/363	42/315	41/318
2	93/366	92/365	40/313	39/312
3	92/365	91/364	43/314	42/315
Jumlah	276/549	273/546	125/398	122/395
Rata-rata	92/365	91/364	41,67/314	40,66/313

B. Analisa Perhitungan Hasil Pengujian

Untuk data hasil pengujian pertama, dengan data temperatur :

$$T1 = 91 \text{ }^\circ\text{C} = 364 \text{ K}$$

$$T2 = 90 \text{ }^\circ\text{C} = 363 \text{ K}$$

$$T3 = 42 \text{ }^\circ\text{C} = 315 \text{ K}$$

$$T4 = 41 \text{ }^\circ\text{C} = 314 \text{ K}$$

Maka,

$$Q = -\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2)$$

$$= -\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3)$$

$$-\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2) =$$

$$-\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3)$$

$$-\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2)$$

atau :

$$k_B = \frac{k_A \cdot A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A \cdot A (T_3 - T_2)}$$

$$k_B = \frac{k_A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A (T_3 - T_2)}$$

$$k_B = \frac{k_A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A (T_3 - T_2)}$$

$$= \frac{k_B}{43 \frac{W}{m} \cdot 0,002 \text{ m} (364 - 363)} = \frac{0,001 \text{ m} (363 - 315)}{1,7916 \text{ W/m K}}$$

Untuk data hasil pengujian ke dua, dengan data temperatur :

$$T1 = 93 \text{ }^\circ\text{C} = 366 \text{ K}$$

$$T2 = 92 \text{ }^\circ\text{C} = 365 \text{ K}$$

$$T3 = 40 \text{ }^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$$

$$T4 = 39 \text{ }^\circ\text{C} = 312 \text{ K}$$

Maka,

$$Q = -\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2) =$$

$$-\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3)$$

$$-\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2) =$$

$$-\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3)$$

$$-\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2)$$

atau :

$$k_B = \frac{k_A \cdot A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A \cdot A (T_3 - T_2)}$$

$$k_B = \frac{k_A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A (T_3 - T_2)}$$

$$k_B = \frac{k_A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A (T_3 - T_2)}$$

$$= \frac{k_B}{43 \frac{W}{m} \cdot 0,002 \text{ m} (366 - 365)} = \frac{0,001 \text{ m} (365 - 313)}{1,6538 \text{ W/m K}}$$

Untuk data hasil pengujian ke tiga, dengan data temperatur :

$$T1 = 92 \text{ }^\circ\text{C} = 365 \text{ K}$$

$$T2 = 91 \text{ }^\circ\text{C} = 364 \text{ K}$$

$$T3 = 43 \text{ }^\circ\text{C} = 314 \text{ K}$$

$$T4 = 42 \text{ }^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$$

Maka,

$$Q = -\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2)$$

$$= -\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3)$$

$$-\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2) =$$

$$-\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3)$$

$$-\frac{k_A A}{\Delta x_A} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2)$$

atau :

$$k_B = \frac{k_A \cdot A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A \cdot A (T_3 - T_2)}$$

$$k_B = \frac{k_A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A (T_3 - T_2)}$$

$$k_B = \frac{k_A \cdot \Delta x_B (T_2 - T_1)}{\Delta x_A (T_3 - T_2)}$$

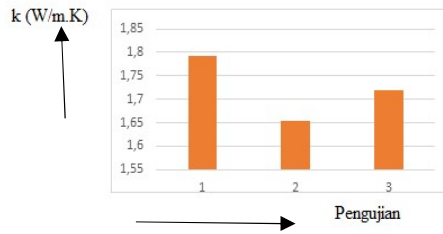
$$= \frac{k_B}{43 \frac{W}{m} \cdot 0,002 \text{ m} (365 - 364)} = \frac{0,001 \text{ m} (364 - 314)}{1,7200 \text{ W/m K}}$$

C. Konduktivitas Tanah Liat Hasil Pengujian

Tabel 3. Harga Konduktivitas Tanah Liat Hasil Pengujian.

No. Pengujian	T ₁ (°C)/K	T ₂ (°C)/K	T ₃ (°C)/K	T ₄ (°C)/K	k W/m K
1	91/364	90/363	42/315	41/314	1,7916
2	93/366	92/365	40/313	39/312	1,6538
3	92/365	91/364	43/314	42/313	1,7200
Jumlah	276/549	273/546	125/398	276/549	5,1654
Rata-rata	92/365	91/364	41,67/314	92/365	1,721

Untuk tanah liat (*Clay, Dry to moist*) dari tabel Conductividade temica harga $k = 0,15 - 1,8$ W/m.K. Bila dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan harga k yang diperoleh adalah sebesar $= 1,7218$ W/m.K.



Gambar 6. Grafik Nilai Konduktivitas Pengujian Tanah Liat Kering

D. Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil perhitungan dihasilkan, konduktivitas bahan dari tanah liat yang uji sebanyak 3 kali, hasil yang diperoleh yaitu ; $1,7916$ W/m.K, $1,6538$ W/m.K dan $1,7200$ W/m.K. Secara rata-rata harga k tanah liat yaitu sebesar $1,7218$ W/m.K. Selisih hasil pengujian antara pertama, kedua dan ketiga adalah ; $0,1378$ dan $0,068$ sangat kecil, sehingga hasil; pengujian yang diperoleh dapat diterima.

Harga k tanah loat dari literatur, yaitu dari tabel Conductividade temica harga k tanah liat berkisar antara $= 0,15 - 1,8$ W/m.K. Harga ini sebenarnya tergantung dari tingkat kandungan air yang berada di dalam tanah liat.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat diberikan kesimpulan, antara lain :

- Harga k tanah liat, bila dibandingkan dengan harga k logam besi sangat kecil sehingga cukup tepat untuk digunakan sebagai isolator panas pada alat pemanggang pempek panggang.
- Harga k tanah liat dari literatur berkisar anatara $0,15 - 1,8$ W/m.K, harga yang diperoleh dari pengujian adalah $1,7218$ W/m.K. Sedangkan harga k besi bahan pensuport pengujian $43 \frac{W}{m} oC$

Saran

Untuk mendapatkan harga k tanah liat yang lebih variatif, maka hendaknya di dalam pengujian berikutnya dimasukan faktor perentase kebasahan tanah liat, sehingga akan diperoleh

gambaran harga k tanah liat yang berdasarkan persentase kebasahan tanah liat.

DAFTAR PUSTAKA

Frank P. Incropera, David P. De Witt (2002) "Fundamental of Heat Mass Transfer", Fifth Edition. Jhon Wiley & Sons, New York. 2002.

J.P. HOLMAN, "Perpindahan Kalor", Penerbit Erlangga, Edisi keenam, 1995.

Moran, Michael J and Shapiro Howard N. 2003. "Fundamentals of Engineering Trehmodynamics ". Edisi 4