

PENGUKURAN KONDUKTIVITAS TERMAL BATA INCINERATOR BATAN BANDUNG

V.Indriati Sri Wardhani dan Henky Poedjo Rahardjo

Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – BATAN, Jl. Tamansari 71, Bandung 40132

ABSTRAK

PENGUKURAN KONDUKTIVITAS TERMAL BATA INCINERATOR BATAN BANDUNG. Limbah radioaktif hasil penelitian dapat berbentuk cair, gas dan padat. Incinerator (tungku pembakar limbah) merupakan salah satu alat alternatif yang dipergunakan untuk mereduksi limbah padat dengan cara pembakaran, oleh karena itu di Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Batan - Bandung telah dilakukan pembuatan incinerator. Ditinjau dari segi penggunaannya sebagai pembakar limbah, maka dinding incinerator yang tersusun dari bata tersebut harus mampu menahan panas supaya proses pembakaran di dalam incinerator lebih efisien. Proses perpindahan panas yang terjadi ketika pembakaran limbah berlangsung adalah perpindahan panas secara konduksi, oleh karena itu untuk mengetahui kemampuan bata tersebut dapat menahan panas sangat bergantung pada parameter konduktivitas termalnya. Semakin kecil konduktivitas termalnya maka panas yang keluar dari dinding bata sedikit. Besar dan kecilnya konduktivitas termal juga dipengaruhi oleh komposisi campuran material penyusun bata, oleh karena itu dalam penelitian ini dibuat tiga (3) cuplikan dengan komposisi campuran material yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh harga konduktivitas termal dari beberapa cuplikan dengan komposisi yang berbeda. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur konduktivitas listrik di PSTBM Serpong dan hasilnya digunakan untuk menghitung konduktivitas termal dengan cara perhitungan. Dari ke tiga variasi komposisi campuran material, konduktivitas panas yang terbaik diperoleh dari campuran material yang terdiri dari pasir batu abu, semen biasa dan air dengan konduktivitas panas pada temperatur 700°C sebesar 3,35 J/s m °C.

Katakunci: incinerator, konduksi, konduktivitas termal, limbah, bata.

ABSTRACT

MEASUREMENT OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF THE BRICK INCINERATOR BATAN BANDUNG. Radioactive waste can be formed as liquid, gas and solid. Incinerator (waste-burning furnace) is one alternative tool that is used to reduce solid waste by burning it. Therefore the incinerator has been fabricated at the Center for Applied Nuclear Science and Technology - BATAN - Bandung. In terms of its use as a burner waste, the incinerator's walls which composed of bricks must be able to withstand the heat so that the combustion process in incinerator will be more efficient. Heat transfer process that occurs when waste combustion takes place is conduction. The ability of the brick could withstand the heat is dependent on thermal conductivity parameter. The smaller the thermal conductivity, the smaller the heat outs of the brick wall. The values of thermal conductivity are also influenced by the composition of the material mixture brick layers. In this study, samples are made in the three (3) footages with a mixture of materials of different composition. The aim of this study is to obtain the values of the thermal conductivity of some footages with different compositions. The method used is by measuring the electrical conductivity using a measuring instrument in PSTBM Serpong and the results are used to calculate the thermal conductivity by means of calculation. Of the three variations of the material composition of the mixture, heat conductivity are best obtained from a mixture of material consisting of sand stone dust, ordinary cement and water with thermal conductivity at a temperature of 700 °C at 3.35 J/s m °C.

Keywords: incinerator, conduction, thermal conductivity, waste, brick.

1. PENDAHULUAN

Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan Batan - Bandung adalah merupakan suatu lembaga penelitian, adapun kegiatan-kegiatan yang telah dilaksanakan antara lain: litbang teknologi pengolahan limbah radioaktif, litbang kimia radiasi dan radioisotop, litbang teknologi keselamatan reaktor, litbang pembuatan elemen bakar dan kegiatan lainnya. Dalam melakukan litbang tersebut selalu disertai dengan berbagai eksperimen dalam laboratorium yang tidak terlepas dari pemakaian benda-benda kerja, baik berupa peralatan, ataupun bahan yang secara langsung maupun tidak langsung berinteraksi dengan zat radioaktif [1]. Berbagai benda kerja yang dipergunakan dalam kegiatan laboratorium pada saatnya akan tidak dapat dipergunakan lagi dan akan menjadi limbah atau sampah[2]. Limbah tersebut telah tercemar zat radioaktif maka digolongkan sebagai limbah radioaktif. Limbah radioaktif hasil penelitian dapat berbentuk cair, gas dan padat, limbah hasil penelitian yang berupa cairan dan gas diencerkan sehingga konsentrasinya menjadi kecil setelah aktivitasnya mencapai di bawah background dibuang ke lingkungan. Sedangkan untuk hasil penelitian yang berupa limbah padat, supaya limbah radioaktif padat ini tidak menumpuk sehingga menyulitkan tempat penyimpanannya, maka perlu dilakukan cara untuk mereduksi limbah tersebut. Salah satu cara untuk mereduksi limbah padat adalah dengan pembakaran [3].

Incinerator (tungku pembakar limbah) merupakan salah satu alat alternatif yang digunakan untuk mereduksi limbah padat dengan cara pembakaran, oleh karena itu di Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan Batan - Bandung telah dilakukan pembuatan incinerator [4]. Incinerator tersebut dinding dalamnya tersusun dari tumpukan batu bata yang bahannya merupakan campuran dari semen portland dan pasir abu batu yang tahan terhadap panas, dinding luarnya dilapisi dengan pelat baja dengan ketebalan 3 mm dengan tujuan panas yang timbul pada saat pembakaran limbah tidak menyebar ke lingkungan di luar incinerator sehingga keselamatan petugas pembakar limbah terjamin. Beberapa variabel yang memungkinkan reaksi pembakaran berlangsung adalah: temperatur,

tekanan, kontak antar unsur dan penyediaan oksigen. Reaksi pembakaran dapat berlangsung jika temperaturnya telah mencapai titik nyala suatu zat, untuk mencapai titik nyala diperlukan sejumlah panas sebagai energi awal yang diberikan dari luar [5].

Perpindahan panas yang berlangsung pada dinding bata merupakan proses perpindahan panas konduksi, yang berarti sangat bergantung pada harga konduktivitas termalnya. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk mengetahui harga konduktivitas termal bata dinding tersebut.

2. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE)

Mekanisme proses perpindahan panas di dalam bata terjadi secara konduksi, yang berarti sangat bergantung pada harga konduktivitas termalnya. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk mengetahui harga konduktivitas termal bata dinding tersebut. Konduktivitas termal ialah kemampuan bahan untuk menyerap panas, persatuan waktu, persatuan panjang bahan, persatuan suhu, satuan yang digunakan $J/s. m^{\circ}C$ [6]. Semakin kecil konduktivitas termalnya maka sedikit panas yang keluar dari dinding bata. Besar dan kecilnya konduktivitas termal juga dipengaruhi oleh komposisi campuran material sebagai penyusun dalam pembuatan bata tersebut, oleh karena itu dalam penelitian ini dibuat tiga (3) cuplikan dengan komposisi campuran yang berbeda untuk dilakukan analisis konduktivitas termal dari ke tiga komposisi cuplikan di atas. Komposisi cuplikan 1 terdiri dari: 72% pasir abu, 12 % semen api, 12 % semen biasa, 4 % air; komposisi cuplikan 2 terdiri dari: 72% pasir abu, 24% semen api, 4% air; komposisi cuplikan 3 terdiri dari: 72% pasir abu, 24 % semen biasa, 4 % air [7].

Sebelum dilakukan pengukuran konduktivitas, terlebih dahulu dilakukan pengujian ketahanan pemanasan terhadap 3 jenis komposisi cuplikan dengan cara memanaskan ke tiga komposisi cuplikan pada suhu $700^{\circ}C$ selama 1 (satu) jam untuk mengetahui dan memastikan ketahanan bata terhadap api. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur ITB. Hasil pengujian panas ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian panas

Cuplikan	A		B		C		Ket
	Sblm	Ssdh	Sblm	Ssdh	Sblm	Ssdh	
Diameter	69 mm	72,0 mm	70 mm	71,3 mm	71 mm	71,2 mm	Tdk pecah
Tinggi	95 mm	96,3 mm	97 mm	97,2 mm	96 mm	96,4 mm	Tdk pecah
Massa	0,64 kg	0,58 kg	0,66 kg	0,63 kg	0,68 kg	0,61 kg	Tdk pecah

Hasil pengujian panas menunjukkan ke tiga cuplikan A, B dan C tidak pecah ataupun retak. Ketika pembakaran limbah berlangsung di dalam ruang bakar incinerator, terjadi proses perpindahan panas secara konduksi dari dinding dalam ke dinding luar. Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan kalor/panas melalui perantara, di mana zat perantaranya tidak ikut berpindah. Dalam arti lain perpindahan kalor pada suatu zat tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya [8]. Dengan adanya perpindahan panas tersebut berarti ada panas yang keluar melewati dinding incinerator, oleh karena itu untuk mengetahui kemampuan dinding incinerator dalam menahan panas sangat bergantung pada parameter konduktivitas termalnya. Konduktivitas termal (daya hantar panas) adalah sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat bahan itu dapat menghantarkan panas konduksi, bila konduktivitasnya kecil berarti perpindahan panasnya juga kecil karena mempunyai sifat menjadi lebih isolator sehingga panas yang keluar dari ruang bakar melewati dinding incinerator tidak banyak. Pada umumnya nilai k dianggap tetap, namun sebenarnya nilai k dipengaruhi oleh temperatur (T) [8].

Hukum dasar untuk proses perpindahan panas konduksi adalah Hukum Fourier sebagai berikut [9,10]:

$$q_k = kA \left[-\frac{\Delta T}{\Delta x} \right] \quad \text{atau} \quad \frac{q_k}{A} = k \left[-\frac{\Delta T}{\Delta x} \right] \quad (1)$$

q = laju perpindahan panas
T = temperatur
k = konduktivitas
A= luas permukaan
Δx= tebal bahan

Bila aliran panas dinyatakan dengan analogi listrik menjadi:

$$q = \frac{\Delta T}{R} = -\frac{[T_2 - T_1]}{\Delta x / kA} \quad (2)$$

$$q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta x / kA} \quad (3)$$

laju perpindahan panas (q) → aliran
temperatur (T) → potensial
konduktivitas termal (k) }
tebal bahan (Δx) } → hambatan
luas permukaan (A) }

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur konduktivitas listrik di PTBIN Serpong, pengukuran dilakukan dengan memanaskan sampel dari ke tiga (3) cuplikan campuran dengan suhu bervariasi dari 100°C hingga 700°C dan hasilnya digunakan untuk menghitung konduktivitas termal dengan cara perhitungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran konduktivitas listrik pada temperatur yang bervariasi digunakan untuk menghitung konduktivitas termal dengan cara perhitungan. Persamaan yang digunakan adalah analogi aliran panas dengan aliran listrik Persamaan (2) dan (3). Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 2, 3 dan 4. Untuk mengetahui seberapa besar efisiensi perubahan konduktivitas listrik ke konduktivitas panas maka dilakukan pengukuran konduktivitas listrik dari semen Portland yang data konduktivitas panasnya sudah banyak ditemukan di buku.

Tabel 2. Cuplikan Bata 1

T(°C)	Konduktivitas listrik (S/cm)	Konduktivitas termal (J/s m °C)
34	$1,584 \times 10^{-5}$	4,66
100	$1,567 \times 10^{-5}$	1,57
200	$2,457 \times 10^{-5}$	1,23
300	$3,805 \times 10^{-5}$	1,27
400	$5,549 \times 10^{-5}$	1,39
500	$7,291 \times 10^{-5}$	1,46
600	$1,372 \times 10^{-4}$	2,29
700	$4,595 \times 10^{-4}$	6,56

Tabel 3. Cuplikan Bata 2

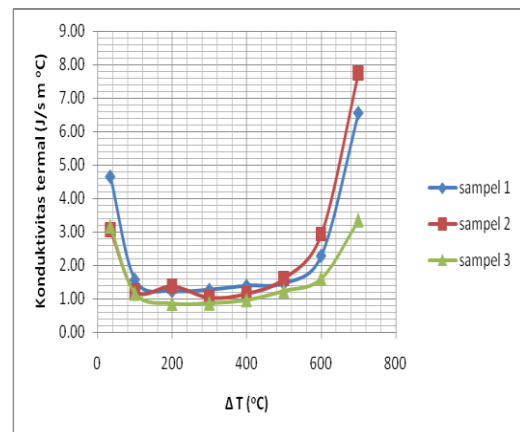
T(°C)	Konduktivitas listrik (S/cm)	Konduktivitas termal (J/s m°C)
34	$2,243 \times 10^{-7}$	3,07
100	$1,243 \times 10^{-7}$	1,24
200	$1,071 \times 10^{-7}$	1,38
300	$6,950 \times 10^{-8}$	1,04
400	$6,390 \times 10^{-8}$	1,16
500	$4,814 \times 10^{-7}$	1,61
600	$9,336 \times 10^{-5}$	2,94
700	$1,974 \times 10^{-4}$	7,76

Tabel 4. Cuplikan Bata 3

T(°C)	Konduktivitas listrik(S/cm)	Konduktivitas termal (J/s m°C)
34	$1,076 \times 10^{-5}$	3,16
100	$1,155 \times 10^{-5}$	1,16
200	$1,703 \times 10^{-5}$	0,85
300	$2,587 \times 10^{-5}$	0,86
400	$3,837 \times 10^{-5}$	0,96
500	$6,162 \times 10^{-5}$	1,23
600	$9,624 \times 10^{-5}$	1,60
700	$2,346 \times 10^{-4}$	3,35

Dari hasil perhitungan yang ditabelkan di atas dijelaskan bahwa konduktivitas panas untuk ke tiga cuplikan mempunyai kecenderungan yang

sama dan bervariasi terhadap kenaikan temperatur. Pada temperatur lingkungan harga konduktivitas panas besar, kemudian mengalami penurunan pada kenaikan temperatur hingga 300°C - 400°C, untuk selanjutnya akan naik lagi pada kenaikan temperatur 500°C - 700°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur lingkungan (34°C) tidak terjadi pemuaian maka kerapatan antar molekulnya besar sehingga lebih mudah untuk memindahkan energi dalam bentuk panas (konduktivitas termalnya besar), tetapi ketika temperaturnya dinaikkan sampai dengan 300°C - 400°C kerapatannya mengalami penurunan sehingga konduktivitas termalnya mengecil. Bila temperaturnya dinaikkan lagi mulai 400°C sampai 700°C konduktivitas termalnya akan naik yang berarti kerapatannya naik kembali. Hal ini menunjukkan bahwa pada temperatur diatas 400°C terjadi pemuaian sehingga kerapatan bata dinding naik sehingga konduktivitas termalnya naik. Hasil perhitungan konduktivitas termal digambarkan dalam bentuk kurva Gambar 1.



Gambar 1. Konduktivitas termal(J/s m°C) vs temperatur(°C).

Pola gambar kurva konduktivitas panas cuplikan bata 1, 2 dan 3 mempunyai pola yang hampir sama, yaitu pada temperatur lingkungan besar kemudian mengecil dan mulai naik kembali sampai temperatur 700°C.

4. KESIMPULAN

Besar dan kecilnya konduktivitas termal dipengaruhi oleh komposisi campuran material sebagai penyusun dalam pembuatan bata tersebut, semakin kecil konduktivitas termalnya maka panas yang keluar dari dinding bata sedikit. Dari perhitungan diperoleh hasil konduktivitas panas untuk ke tiga cuplikan mempunyai kecenderungan

yang sama dan bervariasi terhadap kenaikan temperatur.

Dari variasi komposisi ke 3 cuplikan material bata dipilih cuplikan bata 3 untuk bahan bata pembakar sampah karena cuplikan bata 3 dianggap cukup memadai dari segi ekonomis dan konduktivitas panas nya cukup baik. Dari hasil perhitungan diperoleh besaran konduktivitas panas untuk bata pembakar sampah pada suhu 700°C sebesar $3,35 \text{ J/s m }^{\circ}\text{C}$ terdiri dari campuran material pasir batu abu, semen biasa dan air yang ditampilkan dalam Tabel 4.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. HENKY POEDJO RAHARDJO, Karakteristik temperatur dan reduksi limbah radioaktif padat ruang bakar prototipe tungku HK-2010, JSTNI 14(1) (2013) 46-47.
2. ARTHUR C. STERN, Engineering control of air pollution, Academic press New York San Fransisco London, A subsidiary of harcourt brace javanovich publishers (1977).
3. DON W GREEN, ROBERT H. PERRY, Perry's chemical engineer's handbook 8th edition, Mc Graw-Hill New York, Chicago, San Fransisco (2008).
4. THE INCINERATOR GUIDEBOOK, A practical guide for selecting, purchasing, installing, operating, and maintaining small-scale incinerators in low-resource settings. Website at http://www.path.org/projects/health_care_waste_resources.php.
5. F MC ALLISTER, SARA, CHEN, JYH-YUAN, FERNANDEZ-PELLO, A. CARLOS, Fundamentals of combustion processes, Mechanical engineering series (2011).
6. F. KREITH (editor), The CRC Handbook of Thermal Engineering, CRC Press (2000).
7. INAWATI TANTO, Pengukuran Konduktivitas Panas Bata Pembakar Sampah Radioaktif Tipe HK-2010, Laporan Teknis hasil penelitian 2010.
8. LUQMAN BUCHORI, ST, MT, Perpindahan panas (heat transfer), Available from: http://tekim.undip.ac.id/images/download/PER_PINDAHANPANAS.pdf.
9. THEODORE L. BERGMAN, ADRENNE S. LAVINE, FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT, Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th ed., by John wiley & sons Inc., (2011) 68-70.
10. J.P. HOLMAN, Heat Transfer, tenth edition, Published by Mc. Graw-hill Incorporation 1221 Copyright, Chapter 5 Principles of Conduction Heat Transfer (2010) 1-10.