

## Pengujian Pengaruh Kandungan Air terhadap Konduktivitas Termal Pada Polyurethane Foam

Hendro Wicaksono<sup>1)</sup>, Nandy Putra<sup>2)</sup>, Haryotejo Pujowidodo<sup>1)</sup>, Imansyah Ibnu Hakim<sup>2)</sup>

1) Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi, BTMP – BPPT

2) Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Konduktivitas termal merupakan salah satu sifat termal-fisik bahan yang penting dalam perpindahan kalor, dengan kata lain konduktivitas termal suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut dalam menghantarkan kalor. Besar kecilnya nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan sifat konduktor atau isolator terhadap kalor. Suatu bahan memiliki sifat konduktor terhadap kalor, bila memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. Salah satu contoh bahan yang bersifat isolator adalah polyurethane foam yang biasa digunakan sebagai isolator dingin (*cold insulation*) pada sistem pemipaan pada AC (Air Conditioner), plant LNG, peralatan-peralatan penukar kalor, dan lain-lain. Konduktivitas termal polyurethane foam berkisar antara 0,02 dan 0,04 W/m.K. Pada kondisi pemakaian dalam jangka waktu bertahun-tahun, konduktivitas termal polyurethane foam mengalami perubahan seiring dengan terjadinya kondensasi udara di dalam struktur pori-pori. Oleh karena itu dilakukan pengujian nilai konduktivitas termal pada sampel yang mengalami kondensasi atau bahkan ‘icing’ bertahun-tahun. Untuk menentukan nilai konduktivitas termal sampel tersebut, biasanya digunakan alat yang dikenal dengan *thermal conductivity measuring apparatus*. Pengukuran konduktivitas termal polyurethane secara eksperimen dilakukan di Laboratorium Perpindahan Kalor Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sedangkan pengukuran kadar air (*water contents*) dilakukan dengan menggunakan oven milik Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi, BTMP – BPPT. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa nilai konduktivitas termal sampel lebih dari 9 kali nilai konduktivitas termal polyurethane foam yang baru.

Kata kunci : konduktivitas termal, polyurethane foam, kadar air.

### 1. PENDAHULUAN

Konduktivitas termal merupakan salah satu sifat termal-fisik bahan yang penting dalam perpindahan kalor, dengan kata lain konduktivitas termal suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut dalam menghantarkan kalor. Besar kecilnya nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan sifat konduktor atau isolator terhadap kalor. Suatu bahan memiliki sifat konduktor terhadap kalor, bila memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. Salah satu contoh bahan yang bersifat konduktor adalah bahan terbuat dari logam dimana memiliki nilai konduktifitas termal yang tinggi seperti tembaga, baja. Sedangkan contoh bahan yang bersifat isolator adalah polyurethane foam yang memiliki nilai konduktivitas termal adalah antara 0,02 dan 0,04 W/m.K. Polyurethane foam biasa digunakan sebagai isolator dingin (*cold insulation*) pada sistem pemipaan pada AC (Air Conditioner), plant LNG, dan peralatan penukar kalor.

Pada kondisi pemakaian dalam jangka waktu bertahun-tahun, konduktivitas termal polyurethane foam mengalami perubahan akibat terjadinya kondensasi udara di dalam struktur pori-pori. Oleh karena itu dilakukan pengujian nilai konduktivitas termal pada sampel yang mengalami kondensasi atau bahkan ‘icing’ bertahun-tahun untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kondensasi tersebut terhadap nilai konduktivitas termalnya. Pengukuran konduktivitas termal polyurethane foam secara eksperimen dilakukan di Laboratorium Perpindahan Kalor Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sedangkan pengukuran kadar air (*water contents*) dilakukan di Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi, BTMP – BPPT.

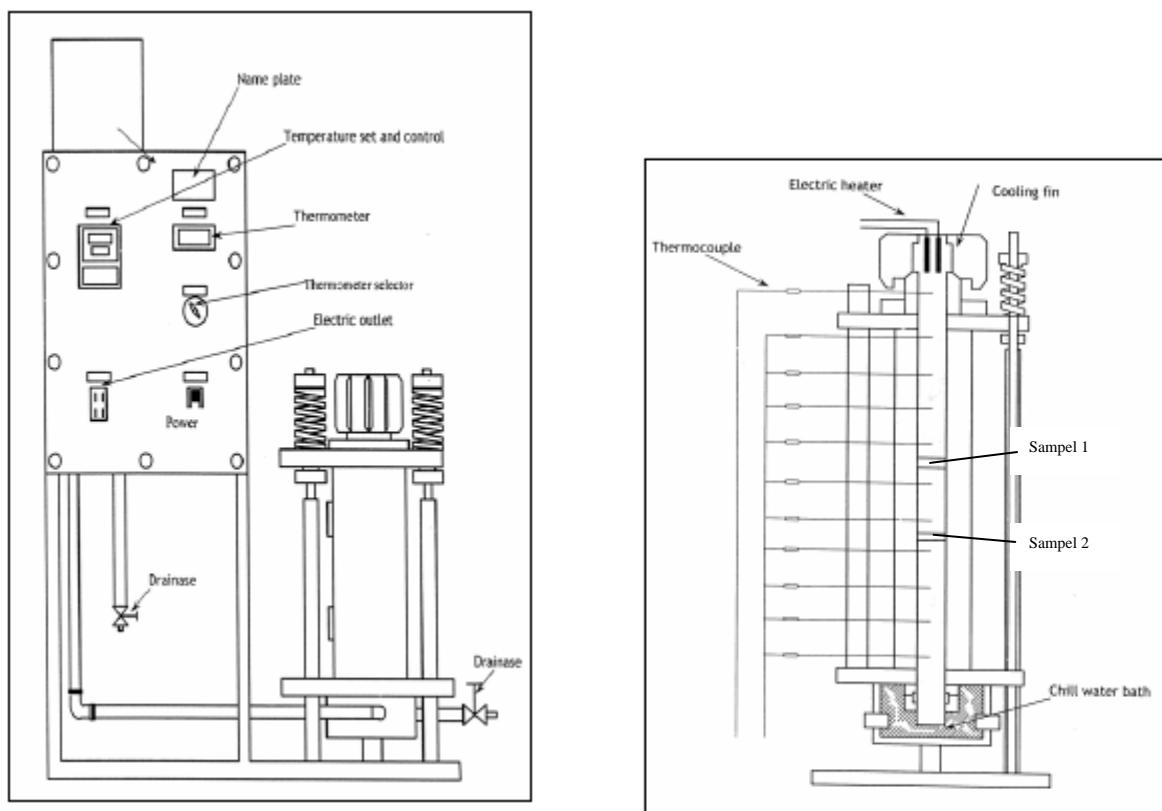
### 2. BAHAN DAN METODE

Sampel polyurethane foam adalah bahan yang telah dipakai sebagai isolator dingin pada sistem pemipaan dimana telah terpasang selama kurang lebih 15 tahun. Preparasi sampel dilakukan sedemikian rupa dengan bantuan alat pemotong elektrik (*electric cutter*) sehingga diperoleh sampel dengan diameter sebesar 40 mm dan ketebalan sebesar 2 - 4 mm. Sampel tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Sampel Polyurethane foam.

Pengukuran nilai konduktivitas termal dari sampel dilakukan dengan menggunakan alat *Thermal Conductivity Meter* merek “Ogawa Seiki” seperti pada gambar 2.



Gambar 2 : Skema Thermal Conductivity Meter.

Alat pengukur konduktivitas termal memiliki heater dengan daya sebesar 1500 Watt sebagai sumber kalor/panas (*heat source*) dimana ditempatkan pada bagian paling atas. Sedangkan pada bagian paling bawah ditempatkan sistem pendingin (*water cooler*) sebagai

*heat sink*. Sebagai referensi nilai konduktivitas termal digunakan silinder standar (*standard disk*) yang terbuat dari tembaga yang telah diketahui nilai konduktivitas termalnya. Silinder standar dan sampel diletakkan diantara heat source dan heat sink secara berselingan satu sama lain. Untuk memastikan bahwa kontak permukaan sumber panas-silinder standar, silinder standar-sampel dan silinder standar-heat sink terjaga dengan baik, maka dilengkapi dengan support pegas yang dapat diatur besar gaya tekannya. Keseluruhan sumber kalor, silinder standar, sampel dan heat sink dilapisi dengan foam untuk mencegah kerugian kalor selama pengukuran berlangsung. Pada sepanjang tumpukan silinder standar dan sampel dipasang 11 termokopel untuk mengukur temperatur degradasi dari sumber kalor sampai ke heat sink.

Nilai konduktivitas termal sampel dapat dihitung dengan persamaan umum :

$$\frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dL}$$

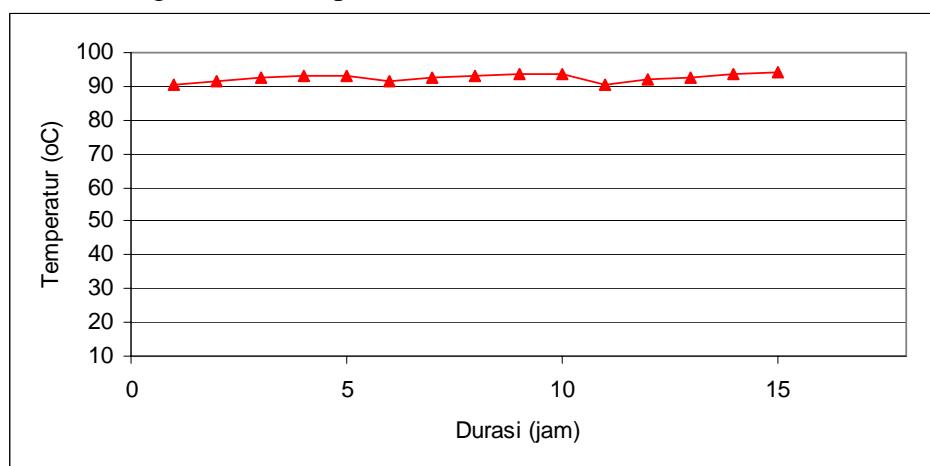
Dimana  $\frac{dQ}{dt}$  = jumlah kalor per satuan waktu, [Watt]

$k$  = konduktivitas termal, [W/m.K]

$A$  = luas penampang tegak lurus aliran kalor, [ $m^2$ ]

$\frac{dT}{dL}$  = gradient temperatur searah aliran perpindahan kalor, [K/m]

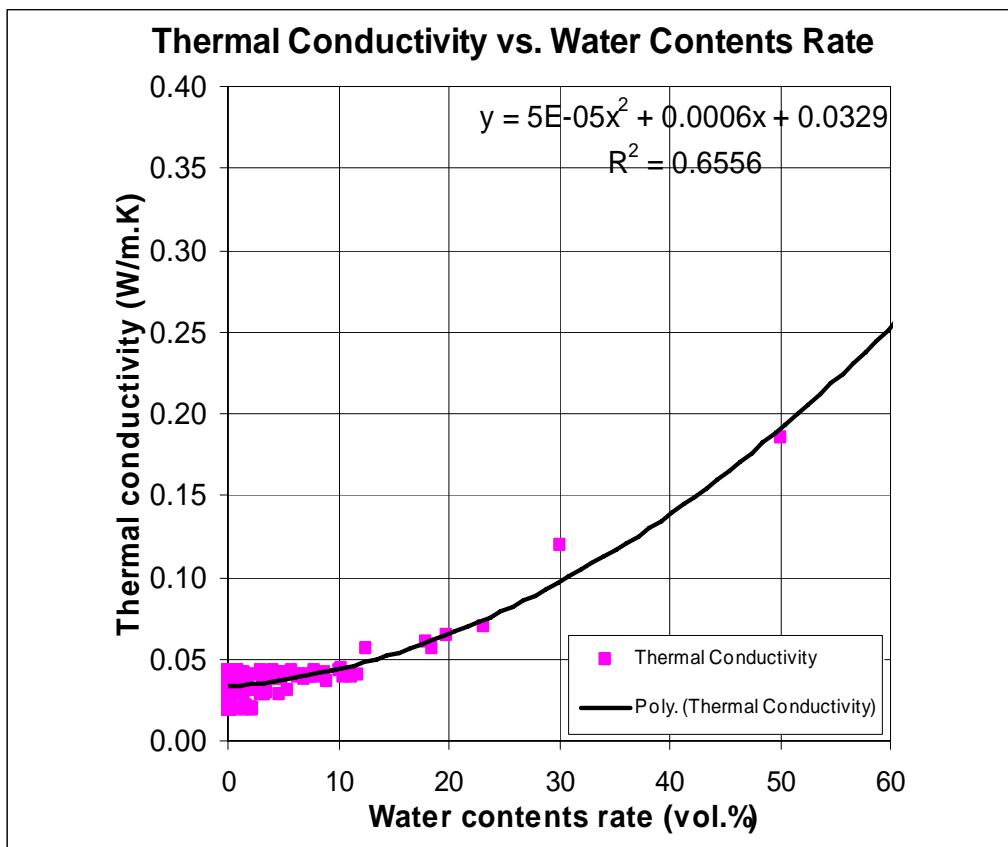
Pengukuran kandungan air (*water contents*) pada sampel dilakukan dengan bantuan oven yang dilengkapi dengan pemanas elektrik (*electric heater*). Pada preparasi sampel, sampel dipotong dengan *cutter* dan diukur dimensinya. Kemudian sampel dipanaskan ke dalam oven dengan temperatur konstan, 90 - 95 °C (Lihat gambar 3). Pengukuran berat sampel dilakukan melalui penimbangan berat sampel pada timbangan digital dengan ketelitian ± 0.1 gram setiap 1 jam. Apabila setelah pengeringan di dalam oven, berat sampel relatif konstan maka sampel dikeluarkan dari oven. Total kandungan air pada sampel dapat diketahui dengan menghitung selisih berat sampel basah (orisinal) dengan sampel kering (akhir). Dengan diketahuinya volume sampel, berat sampel, jumlah berat kandungan air, dan berat jenisnya maka diperoleh kandungan air dalam prosentase volume.



Gambar 3 : Grafik profil temperature oven.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian pengaruh kandungan air terhadap nilai konduktivitas termal sampel. Nilai konduktivitas termal semakin tinggi apabila kandungan air di dalam sampel semakin tinggi. Dengan kata lain bahwa dalam jangka waktu yang lama sifat penghantar termal sampel semakin baik apabila terjadi akumulasi kondensasi di dalam pori-pori sampel. Oleh karena itu nilai konduktivitas termal sampel dapat lebih dari 9 kali lebih tinggi daripada nilai konduktivitas termal polyurethane foam yang baru.



Gambar 4 : Grafik konduktivitas termal terhadap kandungan air

### 4. KESIMPULAN

Dari ulasan di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Kandungan air di dalam polyurethane foam yang sudah bertahun-tahun terpasang dapat mencapai lebih dari 50% vol karena akibat akumulasi kondensasi yang terjadi.
- Nilai konduktivitas termal polyurethane foam lebih dari 9 kali nilai konduktivitas termal polyurethane foam yang baru akibat tingginya kandungan air di dalam pori-pori polyurethane foam. Dengan kata lain bahwa dalam jangka waktu yang lama sifat isolator termal pada polyurethane foam semakin buruk apabila terdapat kandungan air di dalam porinya.

## **5. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Seiki, Ogawa "Instruction Manual", Tokyo, 1987.
- [2] Holman, J.P., "Heat Transfer", McGraw Hill Book Company, London, 1992.
- [3] Imansyah, I.H., Nandy, P., Victor, E., "Simulasi Neural Network untuk Memprediksi Konduktivitas Termal Pada Polyurethane Foam", Prosiding Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Material dan Proses ke 2 - Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 12, 2006.