

## BATAKO BAN BEKAS HEMAT ENERGI DENGAN BAHAN TAMBAH SUPER PLASTICIZER

TIRE BRICKS OF ENERGY SAVING WITH THE ADDED MATERIAL SUPER PLASTICIZER

Nastain\*<sup>1</sup>, Sugeng Waluyo<sup>2</sup>

\*Email: [nastain@unsoed.ac.id](mailto:nastain@unsoed.ac.id)

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Industri, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

**Abstrak**— Komponen dinding memberi kontribusi besar pada usaha penghematan energi listrik pada bangunan, khususnya untuk bangunan dengan sistem pengkondisian udara (AC). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat isolasi panas material dinding dari batako ban bekas dengan penambahan *super plasticizer*. Campuran batako antara semen : agregat (pasir dan potongan ban bekas) adalah 1 : 6 dengan menggunakan fas 0,6 dan dicetak dengan dimensi 34,5 x 12,5 x 9 cm. Sedangkan variasi kadar % ban bekas adalah 50%, 55%, 60%, 65%, 70% dan 75% terhadap volume agregat. Kadar *super plasticizer* digunakan sebesar 0,5% terhadap berat semen. Uji konduktivitas termal dilakukan dalam ruangan tertutup dengan sumber panas berupa lampu pijar 100 watt. Model uji konduktivitas termal dinding menggunakan metode modifikasi ASTM C177. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat satuan batako menurun jika kadar penambahan ban bekas meningkat. Sedangkan nilai konduktivitas termal (*k*) cukup rendah yaitu sebesar 0,22 W/m °C atau mengalami penurunan sebesar 80% dan memiliki kehilangan energi sebesar 1,56 watt/jam atau menghemat daya listrik sebesar 2,35 watt/jam dibandingkan dengan batako tanpa ban bekas.

**Kata kunci** — ban bekas, batako, hemat energi, isolator, *super plasticizer*

**Abstract**— Wall components have a significant role in the conservation of electrical energy in buildings, particularly those equipped with air conditioning (AC) systems. The aim of this study is to assess the thermal insulation properties of wall materials composed of recycled tire bricks, with the addition of a superplasticizer. The composition of the brick consists of a mix of cement and aggregate (sand and recycled tires) at a ratio of 1:6. The mixture is prepared with a water-cement ratio of 0.6. The brick is manufactured with dimensions measuring 34.5 × 12.5 × 9 cm. The observed percentages of recycled tires are 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, and 75% in relation to the volume of the aggregate. Additionally, the quantity of superplasticizer employed is 0.5% based on the weight of cement. The thermal conductivity test was carried out within a closed-off room, whereby a 100-watt incandescent light was utilized as the heat source. The experimental procedure followed the guidelines outlined in ASTM C177, with a minor modification. The results indicated that there was a decrease in the unit weight of bricks as the level of recycled tire addition increased. Furthermore, the thermal conductivity (*k*) has a relatively low value of 0.22 W/m °C, indicating an 80% decline compared to conventional brick. This reduction leads to an energy loss of 1.56 watts/hour or a savings of electric power up to 2.35 watts/hour.

**Keywords** — tires, bricks, energy saving, insulators, super plasticizer

### I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah dengan iklim tropis, dimana suhu lingkungan luar sepanjang tahun rata-rata tinggi. Hal ini akan mendorong penggunaan sistem pengkondisian udara (*air conditioning/AC*) dalam bangunan yang ada. Akibatnya, dibutuhkan energi listrik yang cukup besar untuk memenuhi daya listrik AC yang terpasang. Sebagai contoh dibutuhkan

daya listrik sebesar 400 - 900 watt oleh AC untuk dapat mendinginkan ruangan dengan luas 10 - 14 m<sup>2</sup> dengan baik.

Pada sisi lain, meningkatnya permintaan listrik yang tidak seimbang dengan peningkatan produksi listrik oleh PLN, menyebabkan krisis energi listrik di Indonesia. Usaha penghematan energi listrik AC dapat dilakukan antara lain dengan cara

menggunakan material dinding yang dapat menghambat panas lebih baik, sehingga dapat mengurangi beban pendinginan AC. Hal ini karena sebagian besar panas dalam bangunan diperoleh akibat perpindahan panas dari lingkungan luar melalui dinding secara konduksi.

Material dinding hemat energi dapat dibuat dengan menggunakan bahan atau campuran bahan yang memiliki nilai konduktivitas termal ( $k$ ) yang rendah. Salah satu bahan ringan dan kuat yang dapat digunakan adalah limbah ban bekas (*waste tire*) untuk bahan agregat beton [1], [2], [3], [4] atau batako. Pemanfaatan limbah ban bekas sebagai agregat batako merupakan alternatif usaha pengelolaan masalah lingkungan, yaitu pemanfaatan kembali limbah. Hal ini karena limbah ban bekas sangat sulit diuraikan dan tahan terhadap serangan kimia dan asam [5],[6]. Pemusnahan ban bekas dengan cara dibakar juga cukup sulit dilakukan, karena ban bekas hanya akan terbakar pada suhu di atas 322 °C [7]. Hasil penelitian Nastain, *et al.* [8], [9] menunjukkan bahwa penambahan limbah ban bekas akan menurunkan nilai konduktivitas termal ( $k$ ) batako dan sebanding dengan peningkatan kadar kandungan ban bekas dalam campuran. Pada penambahan kadar kandungan ban bekas 15%, 30%, 45%, 60% nilai konduktivitas termal ( $k$ ) batako turun masing-masing sebesar 11,14%; 11, 51%; 21, 50%; 31,21% dibandingkan dengan batako tanpa bahan tambah ban bekas. Tetapi penambahan kadar ban bekas lebih besar dari 60% akan menyebabkan batako tidak dapat dicetak, karena rendahnya kelecakan campuran (*workability*) beton. Peningkatan kelecakan campuran dapat dilakukan dengan penambahan *super plasticizer* [10], sehingga akan dapat meningkatkan kadar ban bekas yang dapat ditambahkan dalam campuran batako. Semakin besar kadar ban bekas yang dapat ditambahkan dimana batako tetap dapat dicetak dengan baik, maka tentunya akan dapat lebih efektif menurunkan nilai konduktivitas termal ( $k$ ) batako.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat isolasi panas (*heat insulation*) dari batako ban bekas dengan penambahan *super plasticizer* yang digunakan sebagai dinding bangunan, melalui model uji konduktivitas termal dengan menggunakan metode modifikasi ASTM C177.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Konduktivitas termal adalah kemampuan bahan dalam meneruskan panas dari suatu tempat ke tempat

yang lainnya. Konduktivitas termal ( $k$ ) dengan laju sumber kalor ( $q$ ) melalui bahan uji dengan tebal ( $t$ ) pada gradien temperatur ( $T_1-T_2$ ) dapat dihitung berdasarkan rumus modifikasi ASTM C177 yang ditunjukkan oleh persamaan (1) [11], [12].

$$k = \frac{q \times t}{A \times (T_1 - T_2)} \quad (1)$$

Dengan  $q$  adalah laju perpindahan kalor (W),  $k$  adalah konduktivitas batako (W/m °C),  $T_1, T_2$  adalah temperatur sisi batako (°C),  $t$  adalah tebal batako ( m ),  $A$  adalah luas permukaan batako (m<sup>2</sup>).

Tingkat isolasi panas (*thermal insulation*) dinding batako dihitung dengan metode kehilangan energi panas (*heat loss*, BTU/jam) dan dapat dikonversi ke daya energi listrik (watt/jam). Kehilangan energi panas dihitung dengan persamaan (2) dan (3) :

$$Q = 1,1U \times A \times \Delta T \quad (2)$$

$$U = \frac{k}{t} \quad (3)$$

dengan  $Q$  adalah *heat loss*, (BTU/jam),  $A$  adalah luas permukaan benda uji (m<sup>2</sup>),  $\Delta T$  adalah perbedaan temperatur ( $T_1-T_2$ ), °C dan  $U$  adalah daya konduksi (BTU/m<sup>2</sup>. °C. Jam).

Sedangkan konversi kehilangan energi panas (*heat loss*, BTU/jam) ke daya energi listrik (watt/jam) menggunakan faktor konversi bahwa 1 watt = 3,412 BTU. Sehingga persamaan (2) dapat dituliskan kembali dengan menggunakan faktor konversi yang ditunjukkan oleh persamaan (4),

$$Q = \frac{1,1U \times A \times \Delta T}{3,412} \quad (4)$$

dimana  $Q$  adalah *heat loss* dalam (watt/jam).

## III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian model konduktivitas termal terhadap benda uji batako.

### A. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah air, semen, pasir, *super plasticizer* dan potongan ban bekas ukuran dimensi 0,4 x 0,4 x 2,0 cm. Ban bekas yang digunakan merupakan ban bekas jenis ban biasa (bukan *tubeless*).

### B. Peralatan penelitian

Peralatan penelitian adalah ruang isolasi dengan sebuah sumber panas (*heat generator*) berupa lampu pijar 100 watt, termometer *infra red*, cetakan batako, timbangan, dan jangka sorong.

### C. Rancangan Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini adalah berbentuk batako dengan ukuran dimensi 34,5 x 12,5 x 9 cm dan prosentase kadar penambahan agregat ban bekas pada bahan campuran bervariasi. Ukuran, variasi dan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel-1.

Tabel-1. Ukuran, variasi, dan jumlah benda uji

Kode Sampel	Vol. Ban (%)	Vol. Plasticizer (%)	Jumlah Benda Uji	
			Berat satuan	Uji Isolasi
BB.1	50,0	0,5	3	
BB.2	55,0	0,5	3	
BB.3	60,0	0,5	3	
BB.4	65,0	0,5	3	
BB.5	70,0	0,5	3	
BB.6	75,0	0,5	3	
BB.7	50,0	0,5		3
BB.8	55,0	0,5		3
BB.9	60,0	0,5		3
BB.10	65,0	0,5		3
BB.11	70,0	0,5		3
BB.12	75,0	0,5		3

Bahan campuran batako terdiri dari air, semen, pasir, agregat potongan ban bekas dan *super plasticizer*. Penggunaan jumlah air ditetapkan berdasarkan nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,6 dan penggunaan semen per meter kubik bahan campuran batako terhadap agregat (pasir dan potongan ban bekas) adalah 1 : 6. Penambahan *super plasticizer* ditetapkan sebesar 0,5% terhadap berat semen menggunakan Visco-10. Sedangkan variasi persentase kadar penambahan agregat ban bekas dalam campuran batako adalah perbandingan volume antara potongan ban bekas dan pasir yang digunakan.

### D. Tahapan Penelitian

#### 1. Persiapan

Persiapan adalah kegiatan penyediaan formulir-formulir pengujian, penyediaan peralatan, dan kegiatan rapat persiapan dalam rangka koordinasi, pembagian kerja, dan penyusunan TOR.

#### 2. Pengujian Karakteristik Agregat Batako

Pengujian meliputi pengujian karakteristik agregat ban bekas dan agregat pasir. Pengujian agregat pasir meliputi pemeriksaan berat volume, berat jenis, berat jenis kering muka, penyerapan air, kadar lumpur, dan gradasi butir. Sedangkan pengujian agregat bahan ban bekas antara lain pengujian berat volume, berat jenis, absorpsi, dan kuat tarik ban bekas.

#### 3. Pembuatan Potongan Ban Bekas

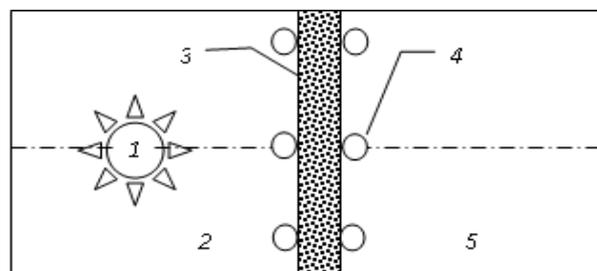
Ban bekas dipotong dengan dimensi ukuran penampang 0,4 x 0,4 cm<sup>2</sup> dan panjang 2,0 cm.

#### 4. Pembuatan Benda Uji Batako

Benda uji batako dibuat dengan ukuran, variasi, dan jumlah benda uji seperti pada Tabel-1. Penambahan potongan ban bekas diberikan secara acak sesuai dengan persen volume yang ditetapkan. Berat potongan ban bekas ( $W_b$ ) dalam 1 meter kubik campuran batako dapat ditentukan dengan rumus:  $W_b = V_b \times \gamma_b$ , dengan  $W_b$  adalah berat ban bekas,  $V_b$  adalah persen volume ban bekas, dan  $\gamma_b$  adalah berat volume ban bekas. Selanjutnya batako yang telah dicetak dirawat selama 28 hari dengan di tempatkan pada daerah yang tidak terkena langsung sinar matahari maupun hujan.

#### 5. Pengujian Isolasi Panas (Thermal Insulation)

Pengujian dilakukan dengan uji konduktivitas termal dengan menggunakan metode ASTM C177 yang telah dimodifikasi. Pengujian dilakukan secara tertutup, sumber panas (*heat generator*) yang diberikan tidak lebih dari 100 °C, dimana lingkungan diisolasi dengan temperatur dan tekanan tertentu. Model uji tingkat isolasi panas seperti pada Gambar-1.



Gambar-1. Sketsa model uji konduktivitas termal

dimana: (1) sumber panas (lampu pijar), (2) ruang isolasi sumber panas, (3) benda uji batako, (4) titik pengukuran suhu pada benda uji dan (5) ruang isolasi

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Karakteristik Agregat Pasir

Pengujian agregat pasir meliputi pengujian kadar lumpur, berat jenis, penyerapan air, dan gradasi butir. Hasil pengujian disajikan pada Tabel-2.

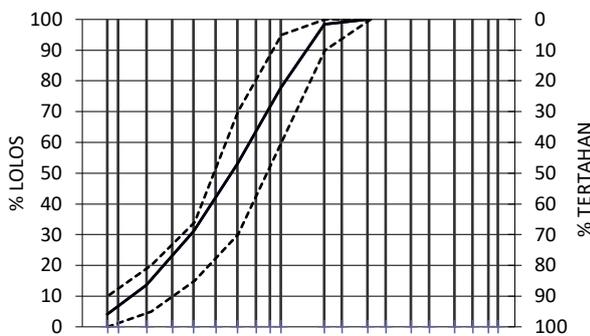
Tabel-2. Hasil uji agregat pasir

Pengujian	Satuan	Hasil uji
Kandungan lumpur	%	1,42
Berat volume padat	gr/cm <sup>3</sup>	1,72
Berat jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,37
Berat jenis SSD	gr/cm <sup>3</sup>	2,55
Berat jenis semu	gr/cm <sup>3</sup>	2,63
Penyerapan air	%	4,15
Modulus halus butir	-	3,22

Lumpur adalah material dengan ukuran butiran kurang dari 0,075 mm atau lolos saringan no. 200 (SNI 03-4142-1996). SNI 03-4142-1996, mensyaratkan kandungan lumpur maksimal dalam agregat halus/pasir yang diizinkan adalah sebesar 5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kandungan lumpur agregat pasir adalah sebesar 1,42 % atau masih di bawah 5 % sehingga agregat pasir dapat digunakan secara langsung sebagai bahan susun batako tanpa harus dicuci terlebih dahulu.

Sedangkan berat jenis agregat halus/pasir adalah rasio antara berat agregat halus dan berat air dalam satuan volume dan suhu yang sama. Berat jenis agregat halus terbagi menjadi berat jenis curah (*bulk*), berat jenis jenuh kering muka (SSD), dan berat jenis semu. Pada pengujian berat jenis akan didapat pula besarnya penyerapan air. Penyerapan merupakan banyaknya air yang mampu diserap agregat untuk menjadikan agregat tersebut menjadi keadaan jenuh kering muka. Berat jenis jenuh kering permukaan hasil pengujian adalah sebesar 2,55. Hal ini menunjukkan bahwa pasir termasuk agregat normal. Hal ini karena agregat halus ringan akan mempunyai nilai berat jenis kering permukaan kurang dari 2,0 dan untuk agregat halus normal antara 2,5 sampai 2,7. Sedangkan agregat halus berat akan mempunyai nilai berat jenis kering permukaan minimal sebesar 2,8 (SNI 03-1970-1990).

Berdasarkan hasil pengujian gradasi, maka pasir yang digunakan termasuk dalam agregat halus golongan II, yaitu pasir agak kasar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar-2. Besarnya nilai modulus halus butir yang diperoleh adalah sebesar 3,22 dan masih berada di antara 2,15 – 3,38 seperti yang disyaratkan dalam ASTM C.136-95a.



Gambar-2. Gradasi agregat pasir

Distribusi butir akan semakin merata dan rongga udara akan semakin sedikit jika nilai modulus halus butir mendekati nilai 3,38. Hal ini akan membuat kuat tekan batako semakin tinggi, sebaliknya jika nilai

modulus halus butir mendekati nilai 2,15 maka distribusi butir kurang merata dan terdapat banyak rongga udara sehingga menyebabkan kuat tekan batako menjadi rendah.

**B. Karakteristik Ban Bekas**

Pengujian ban bekas meliputi pengujian berat jenis, berat volume, dan kuat tarik ban bekas. Hasil pengujian disajikan pada Tabel-3.

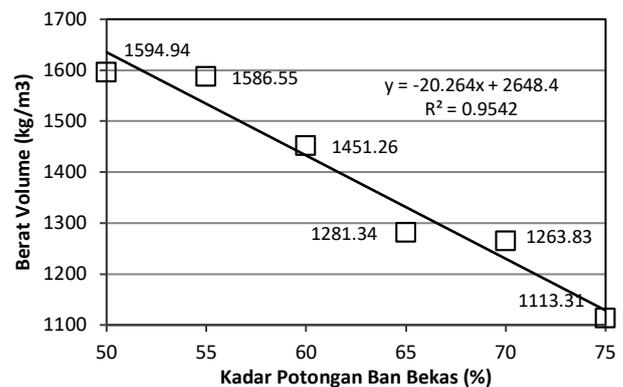
Tabel-3. Hasil uji agregat ban bekas

Pengujian	Satuan	Hasil uji
Berat jenis	gr/cm <sup>3</sup>	1,09
Berat volume padat	gr/cm <sup>3</sup>	0,52
Berat jenis SSD	gr/cm <sup>3</sup>	1,10
Berat jenis semu	gr/cm <sup>3</sup>	1,10
Penyerapan air	%	1,02
Kuat tarik	MPa	200,2

Hasil pemeriksaan karakteristik ban bekas diketahui bahwa ban bekas jenis biasa dengan bahan dasar karet dan benang nylon yang tersusun bersilangan memiliki berat jenis sebesar 1,09 gr/cm<sup>3</sup>, berat volume padat sebesar 0,52 gr/cm<sup>3</sup> dan absorpsi sebesar 1,02%. Sedangkan pengujian kuat tarik ban dilakukan sama seperti pengujian kuat tarik baja. Kerusakan yang ditimbulkan adalah patahnya ban yang ditandai juga dengan putusya benang-benang nilon di dalam ban akibat beban tarik yang terjadi. Hasil pengujian kuat tarik ban bekas adalah sebesar 200,2 MPa.

**C. Karakteristik Berat Satuan Batako**

Batako setelah dicetak dirawat dalam lingkungan atau ruangan yang terlindung dari sinar matahari secara langsung selama ± 28 hari. Setelah batako berumur 28 hari, batako ditimbang untuk mengetahui berat satuan batako. Berat satuan batako adalah berat batako dibagi dengan volume batako. Hasil pengukuran berat satuan batako dapat dilihat pada Gambar-3.

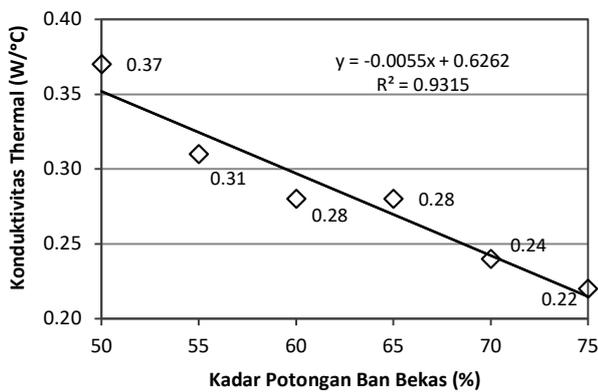


Gambar-3. Berat satuan batako – kadar ban bekas

Berdasarkan Gambar-3, berat satuan batako dengan bahan tambah ban bekas adalah relatif kecil karena kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ , sehingga termasuk kategori batako ringan. Hal ini karena SNI 03-2847-2002 mensyaratkan bahwa beton ringan adalah beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Berat satuan batako semakin kecil seiring meningkatnya kadar penambahan ban bekas dalam campuran. Hal ini karena berat jenis ban bekas lebih kecil dari pada berat jenis agregat pasir. Dengan penggunaan *super plasticizer*, maka penambahan kadar ban bekas dalam campuran batako dapat dilakukan hingga mencapai kadar 75% dimana batako tetap dapat dicetak dan memiliki berat satuan relatif kecil yaitu sebesar  $1.113,31 \text{ kg/m}^3$  atau turun sebesar 42,66% dibandingkan batako tanpa ban bekas (kadar 0%) yaitu sebesar  $1.941,6 \text{ kg/m}^3$  [8].

**D. Konduktivitas Termal Batako**

Uji konduktivitas termal dilakukan menggunakan sumber panas lampu pijar 100 watt dan diasumsikan tersebar merata ke segala arah. Sedangkan pengukuran suhu pada benda uji dilakukan setelah 30 menit, 60 menit, dan 120 menit sejak sumber panas diberikan. Pengukuran dilakukan pada sisi muka ( $T_1$ ) dan belakang ( $T_2$ ) benda uji batako untuk mengetahui perubahan temperatur ( $T_1-T_2$ ) yang terjadi dan digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas batako. Hasil pengukuran konduktivitas batako dapat dilihat pada Gambar-4.



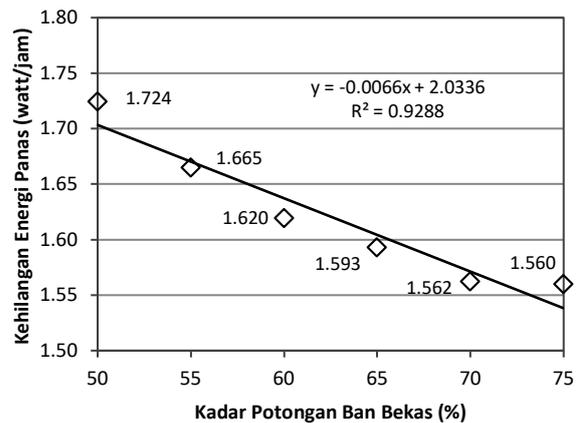
**Gambar-4.** Konduktivitas (k) batako-ban bekas

Berdasarkan Gambar-4, menunjukkan bahwa penambahan ban bekas ke dalam campuran batako akan menurunkan nilai konduktivitas termal ( $k$ ) batako. Besarnya nilai penurunan konduktivitas termal akan sebanding dengan kadar ban bekas dalam campuran batako. Semakin besar kadar ban bekas dalam campuran batako maka semakin rendah nilai konduktivitas termalnya. Batako dengan kadar ban

bekas 75% memiliki nilai konduktivitas ( $k$ ) cukup rendah yaitu sebesar  $0,22 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  atau mengalami penurunan konduktivitas sebesar 80% dibandingkan dengan batako tanpa bahan tambah ban bekas yaitu sebesar  $1,10 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  [8]. Hal ini karena pengaruh dari sifat konduktivitas termal karet ban bekas yang rendah, sehingga semakin besar kadar ban bekas dalam batako, maka konduktivitas batako akan menurun.

**E. Daya Isolasi Batako**

Daya isolasi (*heat insulation*) batako dihitung berdasarkan kehilangan energi panas (*heat loss*, BTU/jam), jika dikonversi ke daya energi listrik (watt/jam), maka  $1 \text{ watt} = 3,412 \text{ BTU}$ . Hasil perhitungan *heat loss* disajikan pada Gambar-5. Berdasarkan Gambar-5. menunjukkan bahwa, dengan penambahan ban bekas dalam campuran batako dapat menurunkan kehilangan energi panas (*heat loss*) yang terjadi. Semakin besar kadar ban bekas dalam campuran batako, maka akan semakin kecil kehilangan energi panas yang terjadi. Jika kehilangan energi panas ini di konversi ke daya listrik, maka terlihat bahwa batako dengan kadar ban bekas 75% kehilangan energinya hanya sebesar 1,56 watt/jam atau dapat dikatakan menghemat daya energi listrik sebesar 2,35 watt/jam dibandingkan dengan batako tanpa campuran ban bekas yaitu sebesar 3,91 watt/jam [8]. Hal ini karena pengaruh dari sifat daya isolasi karet ban bekas yang tinggi akibat sifat konduktivitas termal karet ban bekas yang rendah. Sehingga semakin besar kadar ban bekas dalam batako, maka panas dari luar akan sulit masuk menembus dinding. Hal ini akan membuat suhu ruangan akan lebih stabil atau kehilangan suhu (*heat loss*) nya akan kecil, sehingga dapat mengurangi beban pendinginan AC



**Gambar-5.** Heat loss batako-ban bekas

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan *super plasticizer*, maka penambahan ban bekas dapat dilakukan sampai kadar ban bekas 75% dengan berat satuan batako sebesar 1.113,31 kg/m<sup>3</sup> atau turun sebesar 42,66% terhadap batako tanpa ban bekas (kadar 0%). Nilai konduktivitas (k) cukup rendah yaitu sebesar 0,22 W/m°C atau mengalami penurunan sebesar 80% dan memiliki kehilangan energinya hanya sebesar 1,56 watt/jam atau dapat dikatakan menghemat daya energi listrik sebesar 2,35 watt/jam dibandingkan dengan batako tanpa campuran ban bekas.

### B. Saran

Perlu penelitian lebih lanjut menggunakan benda uji berbentuk dinding untuk memodelkan kondisi yang sebenarnya di lapangan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI atas hibah dana penelitian riset terapan sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nastain and A. Maryoto, *Aplikasi Serat Ban Bekas (Tire Fiber) Untuk Peningkatan Kelenturan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2007.
- [2] Nastain, A. Maryoto, and G. Sugiyanto, *Pengembangan Perkerasan Semi-Lentur (Tire Rigid Pavement) Menggunakan Limbah Ban Bekas. Laporan Penelitian Tahun Ke-1 Program Insentif Kementerian Ristek*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2008.
- [3] Nastain, G. Sugiyanto, and A. Maryoto, *Pengembangan Perkerasan Semi-Lentur (Tire Rigid Pavement) Menggunakan Limbah Ban Bekas. Laporan Penelitian Tahun Ke-2 Program Insentif Kementerian Ristek*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2009.
- [4] Nastain, G. Sugiyanto, A. Maryoto, and Sumiyanto, *Pengembangan Perkerasan Semi-Lentur (Tire Rigid Pavement) Menggunakan Limbah Ban Bekas. Laporan Penelitian Tahun Ke-3 Program Insentif Kementerian Ristek*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2010.
- [5] K. R. Reddy and R. E. Saichek, "Assesment of Damage to Geomembrane Liners by Shredded Scrap Tires," *Geotech. Test. J.*, vol. 21, no. 4, pp. 307–316, 1998.
- [6] K. Malek and A. Stevenson, "The effects of 42 years immersion in sea water on natural rubber," *J. Mater. Sci.*, vol. 21, pp. 147–154, 1986.
- [7] T. Edeskar, *Use of Tire Shreds in Civil Engineering Applications*. Swedia: Lulea University of Technology, 2006.
- [8] Nastain, W. Widiyanto, and S. Waluyo, *Pemanfaatan Limbah Ban Bekas Sebagai Agregat Kasar Untuk Pengembangan Bata Beton Ringan Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan (Tahun Ke-1). Laporan Akhir penelitian Hibah Bersaing Dikti*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2013.
- [9] Nastain, Y. Hariyanto, and S. Waluyo, *Pemanfaatan Limbah Ban Bekas Sebagai Agregat Kasar Untuk Pengembangan Bata Beton Ringan Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan (Tahun Ke-2). Laporan kemajuan penelitian Hibah Bersaing Dikti*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2014.
- [10] Wisnumurti, "Pengaruh Komposisi Mortar Terhadap Kuat Geser dan Hancur Tekan Searah Bidang Dinding Pasangan Bata Merah," *J. Ilm. Rekayasa*, vol. 1, no. 2, 2004.
- [11] S. Mulyadi, E. Adril, and I. Apriono, "Uji Isolasi Panas Papan Sekam Dengan Variasi Ukuran Partikel dan Kepadatan," *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, 2010.
- [12] H. Wibowo, T. Rusianto, and M. Ikhsan, "Pengaruh Kepadatan dan Ketebalan Terhadap Sifat Isolator Panas Papan Partikel Sekam Padi," *J. Teknol.*, vol. 1, no. 2, 2009.