



## DAUR ULANG REFRAKTORI BEKAS PAKAI *KILN* DAN *FLY ASH* BATU BARA DENGAN VARIASI TEKANAN *GREENBODY*

Ayu Septriana<sup>a</sup>, Azhar<sup>a</sup>, Widi Astuti<sup>b</sup>,

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brodjonegoro No.1 Bandar Lampung, Provinsi Lampung 35145

<sup>b</sup>Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI

Jl. Ir. Sutami Km. 15, Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Provinsi Lampung 35361

E-mail: [widi.mineral@gmail.com](mailto:widi.mineral@gmail.com)

Masuk Tanggal : 21-08-2017, revisi tanggal : 09-11-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 08-01-2018

### Intisari

Refraktori merupakan salah satu jenis bahan keramik yang tahan terhadap panas (temperatur tinggi) dan memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia pada temperatur tinggi. Pembuatan refraktori pada penelitian ini menggunakan bahan baku refraktori bekas pakai *kiln* pabrik semen dengan tambahan 15% *fly ash* batu bara. Penelitian ini menganalisis pengaruh tekanan *green body* dari campuran refraktori bekas pakai dan *fly ash* batu bara yang dihasilkan terhadap sifat fisik refraktori tersebut. Bahan baku refraktori bekas pakai dihaluskan dengan distribusi ukuran agregat besar -40+80 *mesh* dan ukuran agregat kecil -80 *mesh*, sedangkan *fly ash* batu bara berukuran -100 *mesh*. Pemadatan bahan baku dilakukan dengan menggunakan alat *press hydraulic*, dengan cetakan berbentuk kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm. Dilakukan variasi tekanan campuran *green body* sebesar 8, 9, 10, 11, 12, dan 13 ton. Pengujian produk dilakukan dengan uji porositas (*apparent porosity*) dan densitas (*bulk density*) dengan metode archimedes, kuat tekan (*cold crushing strenght*), dan uji konduktivitas termal bahan dilakukan dengan metode *guarded hot plate* menggunakan standar ASTM (C 177-04). Pengaruh tekanan *green body* dari campuran *fly ash* batu bara dan refraktori bekas pakai *kiln* terhadap sifat fisik refraktori adalah semakin tinggi tekanan pencetakan *green body*, maka semakin tinggi nilai kuat tekan dan densitasnya, sedangkan nilai konduktivitas termal dan porositas akan semakin rendah. Nilai tertinggi untuk kuat tekan dan densitas adalah 4,48 MPa; 1,119 gr/cm<sup>3</sup>; nilai terendah konduktivitas termal dan porositas adalah 11,60 W/m.K; 22,034 %. Nilai-nilai tersebut didapatkan dari tekanan *green body* 13 ton.

**Kata Kunci:** Refraktori, *kiln*, *fly ash* batu bara, tekanan *green body*

### Abstract

Refractory is one type of ceramic material which is thermostable (high temperature resistant) and has the ability to maintain a good physical and chemical condition at high temperature. Manufacture of refractory in this study using used kiln refractory from cement industry and 15% coal fly ash as additional. This research analyzed the effect of green body pressure produced by physical properties of refractory which made from mixture of used refractory and coal fly ash. Used refractory crushed into large aggregate size -40 +80 mesh and small aggregate size -80 mesh, while fly ash -100 mesh. Then, the two of material mixed. Raw material pressed by *press hydraulic*, with a cube-shaped mold in 5 x 5 x 5 cm size. The pressure of green body varied in 8, 9, 10, 12, and 13 tons. The product tested by archimedes methode to getting apparent porosity and bulk density, and guarded hot plate methode standard use ASTM (C 177-04) to getting the cold crushing strenght and thermal conductivity. Higher pressure molding green body product was obtained with higher compressive strength and bulk density, with lower value of the apparent thermal conductivity and porosity. The highest value for the compressive strength and bulk density was 4.48 MPa; 1.119 g / cm<sup>3</sup>; the lowest value of thermal conductivity and apparent porosity is 11.60 W/m.K; 22.034%. Those values obtained from green pressure body 13 tons.

**Keywords:** Refractory, *kiln*, *fly ash* coal, green body pressure

## 1. PENDAHULUAN

Refraktori adalah material konstruksi (material keramik) yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi di bawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau slag. Kebutuhan akan refraktori semakin meningkat seiring dengan perkembangan peradaban dan teknologi [1]. Keunggulan dari refraktori menunjukkan kualitas dari proses manufakturnya, dan selama proses perbaikan sangat dipengaruhi oleh kekuatan, ketahanan terhadap slag, aliran gas dan cairan, konduktivitas panas dan ketahanan terhadap *thermal shock* [2].

Refraktori untuk *rotary kiln* di pabrik semen biasanya menggunakan refraktori alumina, dimana kandungan alumina berkisar 45% s.d 95% atau mengandung bahan yang memiliki kadar alumina tinggi [3].

Menurut Rupnarayan [4], *fly ash* merupakan abu ringan dari batu bara yang keluar bersama gas saat proses pembakaran dalam sistem boiler. *Fly ash* memiliki karakteristik *pozzolanic* yaitu bahan yang mampu bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida pada suhu yang biasa untuk membentuk senyawa sehingga memiliki karakteristik seperti semen. *Fly ash* juga memiliki karakteristik dapat menyimpan energi panas, memiliki kesamaan fasa mikrokristalin dari unsur-unsur dalam tanah liat saat dipanaskan misal pada temperatur 1000 °C.

Pembuatan refraktori atau daur ulang refraktori dengan bahan baku refraktori bekas pakai *rotary kiln* dengan penambahan *fly ash* batubara untuk menghasilkan refraktori daur ulang yang memiliki sifat fisik lebih baik dari refraktori bekas tersebut merupakan suatu kajian yang sangat menarik selain dalam hal pemanfaatan *fly ash* dan refraktori bekas tetapi juga untuk mengurangi limbah padat dan mengurangi biaya pengadaan refraktori baru. *Fly ash* batubara sangat mudah didapatkan, yaitu dari beberapa PLTU yang ada di Indonesia salah satunya PLTU Unit Tarahan, Provinsi Lampung.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan refraktori yang berpengaruh pada kekuatan refraktori, salah satunya adalah tekanan yang digunakan pada pembuatan refraktori. Pada penelitian ini akan dilakukan studi tentang pengaruh tekanan *green body* yang digunakan pada pembuatan atau daur

ulang refraktori bekas terhadap sifat-sifat penting refraktori yaitu CCS (*cold crushing strength*), konduktivitas panas, porositas, dan bulk density.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan pada campuran refraktori bekas pakai dan *fly ash* batubara terhadap sifat fisik refraktori yang terbentuk. Sifat fisik yang dimaksud antara lain, konduktivitas panas (*thermal conductivity*), porositas (*apparent porosity*), densitas (*bulk density*), dan kuat tekan (*cold crushing strenght*).

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

Metode yang digunakan dalam proses daur ulang ini sama dengan metode pembuatan refraktori pada umumnya yaitu penghancuran, pengayakan, penekanan dan pembakaran (*sintering*). Proses *sintering* merupakan proses pembentukan sifat-sifat yang akan dimiliki oleh refraktori, dengan kondisi pemanasan serbuk yang telah dipadatkan berubah menjadi padatan yang lebih menyatu pada temperatur di bawah titik lelehnya. Faktor yang memengaruhi proses *sintering* adalah temperatur *sintering*, waktu *sintering*, ukuran partikel, komposisi campuran bahan, dan densitas serbuk yang dipadatkan (*powder compact*) [5].

Penambahan tekanan pada saat pencetakan sampel dapat memberikan susunan yang lebih baik dan berperan pada pengurangan porositas karena tekanan semakin besar akan memiliki sruktur padatan yang lebih rapat. Porositas merupakan ruang kosong yang terdapat pada suatu padatan termasuk refraktori. Berdasarkan teori, semakin besar tekanan maka akan semakin kecil porositasnya, oleh karena itu perlunya melihat pengaruh tekanan pada refraktori bekas pakai yang di daur ulang terhadap sifat fisik refraktori. Memberikan tekanan pada saat penekanan pada seluruh permukaannya sampai menghasilkan sampel uji yang padat dan tidak rapuh, akan menghasilkan densitas yang berbeda-beda.

Proses pembuatan refraktori pada penelitian ini berbahan dasar refraktori bekas pakai *kiln* pabrik semen. Tahap awal yang dilakukan adalah penghancuran refraktori bekas pakai *kiln* hingga berbentuk serbuk. Bahan yang akan ditambahkan adalah 15% *fly ash batubara*. Tahap selanjutnya, pengayakan (*screening*) dengan ukuran partikel -40+80 *mesh* sebanyak 55,76% (167,28g refraktori), -80 *mesh* sebanyak 29,24% (87,72g refraktori) dan -100 *mesh* sebanyak 15% (45 g *fly ash*) sehingga berat total sampel 300 g. Terlebih dahulu dilakukan analisis SEM-EDS (*scanning*

*electron microscopy-energy dispersive spectroscopy*) untuk mengetahui permukaan dan komposisi yang terkandung pada bahan baku. Dilakukan pencampuran bahan baku refraktori dan *fly ash* menggunakan alat *mixing tank*. Dilakukan penambahan air sebanyak 27 ml atau 9% dari berat total sampel. Pencetakan serbuk menjadi padatan (*green body*) dengan variasi tekanan 8, 9, 10, 11, 12, dan 13 ton. Proses *sintering greenbody* di dalam *furnace* pada temperatur 1200 °C, waktu *sintering* 6 jam. Setelah dilakukan *sintering*, dilakukan pengukuran. Pengukuran *apparent porosity* dan *bulk density* dilakukan berdasarkan metode *archimedes* standar pengujian ASTM C20-00. Sedangkan pengukuran *thermal conductivity* dilakukan dengan metode *guarded hot plate* menggunakan standar ASTM (C 177-04) (ASTM C177-04, 2015) [6].

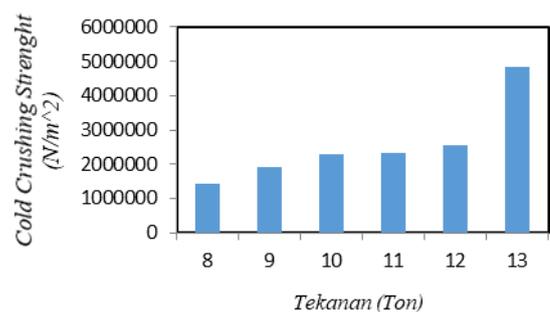
### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Pengaruh Tekanan Pencetakan terhadap Cold Crushing Strength (CCS)

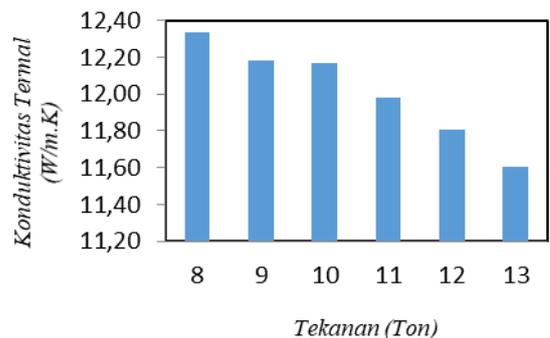
CCS (*cold crushing strength*) merupakan resistansi refraktori terhadap tekanan pada temperatur kamar. Digunakan sebagai salah satu indikator resistansi terhadap abrasi [7]. Tabel 3 menunjukkan hasil uji karakteristik fisik daur ulang refraktori dari campuran *fly ash* batubara dengan variasi tekanan *green body* 8, 9, 10, 11, 12, dan 13 ton. Hubungan antara besarnya tekanan terhadap nilai kuat tekan atau CCS untuk refraktori campuran bahan baku *fly ash* ditunjukkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1, diketahui bahwa dengan penekanan sebesar 8 ton pada saat pencetakan, nilai kuat tekan yang dihasilkan sebesar 1,44 Mpa, dan ketika digunakan tekanan yang lebih tinggi yaitu antara 9-13 ton, nilai kuat tekan yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 1,94-2,84 Mpa. Hal ini terjadi karena penekanan pada saat mencetak membantu terisnya partikel-partikel kosong, sehingga terjadi difusi solid-solid yang mengakibatkan nilai CCS yang semakin tinggi. N. Toniolo, dkk [8] memperoleh hasil terkait refraktori geopolimer dengan bahan baku *fly ash* memiliki kekuatan yang tinggi sebesar 75±14 MPa. Sebagai acuan refraktori dengan kekuatan tekan di atas 70 MPa diklasifikasikan sebagai refraktori dengan kekuatan tinggi [9].

Tabel 3. Hasil uji karakteristik fisik daur ulang refraktori dari campuran *fly ash* batubara

Sampel Tekanan (Ton)	CCS/ Kuat tekan (Mpa)	Apparent Porosity (%)	Bulk Density gr/cm <sup>3</sup>	Konduktivitas Termal (200 °C) (W/m.K)
8	1,44	26,312	1,099	12,34
9	1,92	24,330	1,102	12,19
10	2,30	24,172	1,106	12,17
11	2,34	23,650	1,108	11,98
12	2,56	22,643	1,111	11,81
13	4,84	22,034	1,119	11,60



Gambar 1. Grafik hubungan tekanan terhadap nilai kuat tekan/*cold crushing strength* (produk/campuran refraktori dan *fly ash* batubara)



Gambar 2. Grafik hubungan tekanan terhadap *thermal conductivity* atau konduktivitas termal (produk/campuran refraktori dan *fly ash* batubara)

#### 3.2 Pengaruh Tekanan Pencetakan terhadap Konduktivitas Termal (k)

Nilai konduktivitas termal suatu bahan melambangkan kemampuan refraktori tersebut dalam melakukan transfer panas atau kemampuan refraktori dalam menghantarkan panas ketika kontak dengan suhu tinggi. Dalam hal ini perpindahan panas yang terjadi pada refraktori merupakan perpindahan panas secara konduksi, di mana peristiwa tersebut tergantung pada nilai konduktivitas termal bahan (k). Konduktivitas termal tergantung pada komposisi kimia, mineral, kandungan silika pada refraktori, dan suhu penggunaan (biasanya berubah dengan naiknya suhu). Gambar 2

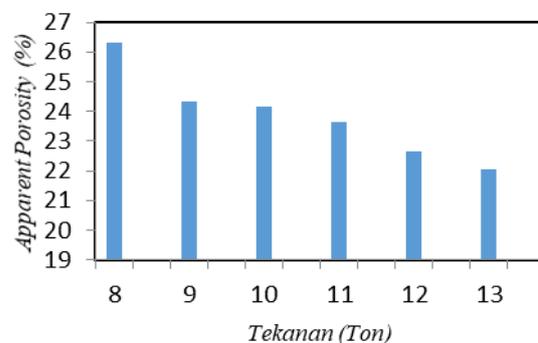
menunjukkan bahwa dengan penekanan sebesar 8 ton, nilai konduktivitas termal yang dihasilkan sebesar 12,34 W/m.K, sedangkan ketika tekanan dinaikkan menjadi 9-13 ton, nilai konduktivitas termal yang dihasilkan menurun menjadi sebesar 12,19- 11,60 W/m.K. Hal tersebut bertolak belakang dengan teori, seharusnya refraktori dengan tekanan yang tinggi akan memiliki struktur padatan yang lebih rapat, sehingga menghasilkan pori yang lebih sedikit atau rapat. Dengan pori yang lebih rapat maka kemampuan refraktori untuk menghantarkan panas akan semakin cepat. Pada penelitian ini terjadi penurunan konduktivitas termal dengan tekanan yang semakin meningkat dikarenakan bahan yang terkandung adalah *fly ash* batubara. *Fly ash* batubara mengandung SiO<sub>2</sub>. Menurut Sarker, dkk. [10] dan N. Toniolo, dkk. [8] *fly ash* dari hasil bakaran batu bara merupakan limbah material yang sangat baik untuk pembuatan refraktori berbasis geopolimer dengan bahan baku dari limbah yang mengandung komposisi alumina-silikat serta memiliki sifat pozzolanic.

Nilai konduktivitas termal yang tinggi tidak diinginkan karena sifat refraktori yang diperlukan adalah tahan terhadap suhu tinggi. Semakin rendah nilai konduktivitas termal semakin baik suatu refraktori tersebut sebagai isolator (penghambat panas) dan semakin besar ketahanan refraktori nya terhadap temperatur. Dari penjelasan di atas, dapat dikatakan bahwa untuk nilai konduktivitas termal sebagai produk refraktori lebih baik mempunyai nilai yang rendah. Semakin rendah nilai konduktivitas termal maka akan semakin baik pula sifat refraktori tersebut sebagai isolator. Pada penelitian ini semakin tinggi nya tekanan *green body* maka semakin rendah nilai konduktivitas termal karena mengandung *fly ash* batubara yang artinya refraktori tersebut mampu menjadi isolator. Pada penelitian ini, nilai terbaik refraktori yang memiliki sifat konduktivitas termal yang rendah sebagai isolator adalah sebesar 11,60 W/m.K, pada tekanan 13 ton.

### 3.3 Pengaruh Tekanan Pencetakan terhadap Porositas

Porositas merupakan volume pori-pori yang terbuka, di mana cairan dapat menembus, sebagai persentase volum total refraktori. Sifat ini penting ketika refraktori melakukan kontak dengan terak dan isian yang leleh. Porositas yang nampak rendah mencegah bahan leleh menembus refraktori. Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan pengaruh *apparent porosity* (porositas) untuk refraktori campuran bahan

baku *fly ash*. Dari Gambar 3 terlihat bahwa dengan penekanan pada saat pencetakan sebesar 8 ton, nilai *apparent porosity* (porositas) yang dihasilkan sebesar 26,312%, sedangkan dengan tekanan yang lebih tinggi yaitu 9-13 ton, nilai *apparent porosity* (porositas) yang dihasilkan semakin menurun menjadi sebesar 24,330-22,034%. Dilihat dari nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada saat pencetakan akan menyebabkan nilai *apparent porosity* (porositas) yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh refraktori yang diberikan tekanan yang tinggi atau besar pada saat pencetakan *green body* akan memiliki struktur padatan yang lebih rapat, jika struktur padatan rapat maka pori atau porositas atau *apparent porosity* yang dimiliki refraktori akan semakin sedikit atau kecil. Hal ini sangat menguntungkan karena suatu refraktori yang memiliki nilai *apparent porosity* atau porositas yang tinggi akan mengakibatkan kerusakan pada refraktori seperti korosi. Menurut M. B. Berger [2] *density* dan *porosity* yang dihasilkan sangat berpengaruh terhadap ketahanan refraktori saat dipenuhi oleh slag atau ketahanan penetrasi saat proses gas berlangsung.



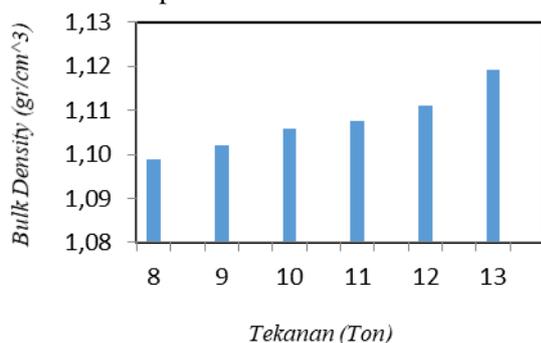
Gambar 3. Grafik hubungan tekanan terhadap *apparent porosity* (produk/campuran refraktori dan *fly ash* batubara)

### 3.4 Pengaruh Tekanan Pencetakan terhadap Bulk Density

*Bulk density* merupakan jumlah bahan refraktori dalam suatu volum (kg/m<sup>3</sup>). Kenaikan *bulk density* refraktori akan menaikkan stabilitas volum, kapasitas panas dan tahanannya terhadap penetrasi terak. Dari gambar 4 diketahui bahwa dengan penekanan sebesar 8 ton pada saat pencetakan, nilai *bulk density* atau densitas refraktori campuran yang dihasilkan sebesar 1,099 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan dengan tekanan 9-13 ton, densitas yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 1,102-

1,119 g/cm<sup>3</sup>. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa pemberian nilai tekanan yang semakin besar pada saat pencetakan akan menghasilkan nilai densitas yang besar pula. Hal tersebut disebabkan pada saat proses pemberian tekanan pada saat mencetak membantu terjadinya partikel-partikel kosong terisi, sehingga terjadi difusi solid-solid. Partikel-partikel dapat mengisi atau masuk ke ruang yang kosong juga dikarenakan adanya perbedaan ukuran pada bahan baku. Pada saat dipenekanan volume refraktori akan menurun. Menurunnya volume refraktori dikarenakan refraktori yang diberi tekanan semakin besar akan memiliki struktur padatan yang lebih rapat, karena hal tersebut maka nilai densitasnya pun akan semakin besar, karena hal itu sehingga semakin besar tekanan maka akan semakin besar pula densitasnya.

Berdasarkan hasil SEM pada Gambar 5 dan 6 terlihat bahwa sampel refraktori bekas pakai kiln pabrik semen susunan partikelnya lebih padat jika dibandingkan sampel daur ulang refraktori campuran.

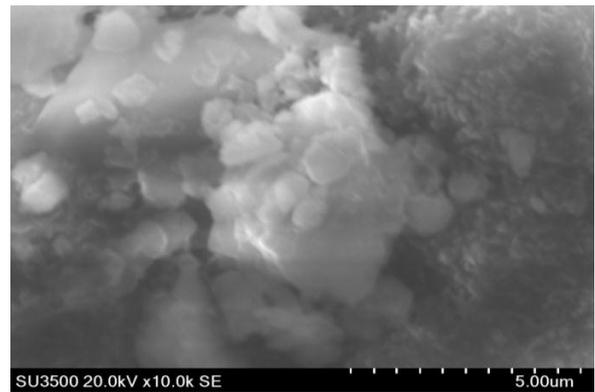


Gambar 4. Grafik hubungan tekanan terhadap *bulk density* (produk/campuran refraktori dan *fly ash* batubara)

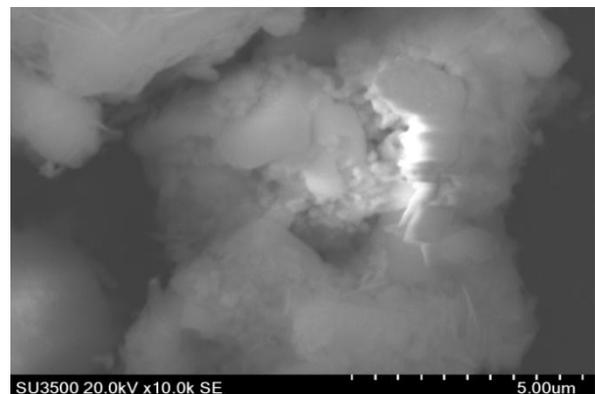
Pada foto refraktori daur ulang campuran masih terlihat jelas celah antar partikel. Artinya bahwa refraktori daur ulang campuran yang dibuat masih belum mengalami proses *sintering* secara sempurna. Sedangkan untuk sampel daur ulang refraktori murni terlihat bahwa celahnya lebih sedikit dibanding kedua sampel lainnya. Faktor yang mendukung terjadinya *sintering* pada proses pembakaran pada tanur bakar, yaitu lama waktu *sintering* dan temperatur *sintering*. Jika dilihat dari hasil tersebut, faktor temperatur *sintering* sangat mempengaruhi, yaitu bahwa pada *sintering* dengan temperatur 1200 °C masih belum cukup untuk menghasilkan refraktori daur ulang yang ter-*sintering* dengan baik. Jika variasi ukuran partikel lebih ditingkatkan ada kemungkinan bahwa celah-celah kosong yang ada pada foto SEM tersebut akan terisi oleh partikel yang lebih kecil. Dan menjadi lebih padat jika variasi

tekanan pencetakan ditingkatkan dari tekanan pencetakan sebelumnya yaitu 8, 9, 10, 11, 12, dan 13 ton.

Tabel 1 menunjukkan hasil EDS elemen penyusun refraktori bekas pakai kiln pabrik semen yang digunakan sebagai bahan baku utama. Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa penyusun terbanyak refraktori bekas pakai kiln pabrik semen tersebut adalah senyawa MgO yang berasal dari elemen Mg. Sehingga dapat disimpulkan refraktori bahwa bekas pakai kiln pabrik semen yang dipakai adalah *magnesia fire brick* atau refraktori MgO.



Gambar 5. Foto SEM sampel refraktori bekas pakai kiln pabrik semen (bahan baku refraktori murni)



Gambar 6. Foto SEM produk/campuran refraktori dan *fly ash* batubara pada T = 1200 °C, P = 13ton, t = 6 jam.

Tabel 1. Senyawa penyusun refraktori bekas pakai kiln (bahan baku)

No	Element	Massa (m)	
		gram	%
1	C (CaCO <sub>3</sub> )	6,8858	30,2867
2	O (SiO <sub>2</sub> )	8,9198	39,2327
3	Na (Albite)	0,1854	0,8155
4	Mg (MgO)	2,9748	13,0845
5	Al (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,1164	0,5118
6	Si (SiO <sub>2</sub> )	0,1063	0,4675
7	P (GaP)	0,0180	0,0792

8	S (FeS <sub>2</sub> )	0,2955	1,2997
9	Cl (Kcl)	0,6100	2,6829
10	K (MAD)	2,1090	9,2764
11	Ca (WA)	0,4907	2,1582
12	Mn (Mn)	0,0015	0,0066
13	Fe (Fe)	0,0180	0,0792
14	W (W)	0,0000	0,0000
15	Po (not)	0,0000	0,0000
16	Br (KBr)	0,0043	0,0190
Total		22,7355	100,0000

Tabel 2 menunjukkan komposisi elemen senyawa penyusun *fly ash* batubara. *Fly ash* batubara senyawa penyusun yang dominan adalah silika dan alumina. Unsur silika dan alumina mempunyai sifat *pozzolanic* dan sifat kimiawi yang mampu mengikat bahan ketika ditambahkan dengan air serupa dengan yang dilakukan oleh S. Rupnarayan [4].

Tabel 2. Senyawa penyusun *fly ash* batubara (bahan baku tambahan)

No	Element	Massa (m)	
		gram	%
1	C (CaCO <sub>3</sub> )	5,3133	22,6298
2	O (SiO <sub>2</sub> )	11,2526	47,9255
3	Na (Albite)	0,2942	1,2532
4	Mg (MgO)	0,1508	0,6424
5	Al (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,7940	16,1589
6	Si (SiO <sub>2</sub> )	1,9419	8,2705
7	P (GaP)	0,0093	0,0398
8	S (FeS <sub>2</sub> )	0,0090	0,0383
9	Ti (Ti)	0,0541	0,2304
10	K (MAD)	0,0032	0,0137
11	Ca (WA)	0,5632	2,3986
12	Mn (Mn)	0,0046	0,0196
13	Fe (Fe)	0,0752	0,3203
14	Zr (Zr)	0,0078	0,0332
15	Ag (Ag)	0,0021	0,0089
16	Ln (LnAs)	0,0040	0,0169
Total		23,4794	100,0000

#### 4 KESIMPULAN

Pengaruh tekanan *green body* dari campuran *fly ash* batu bara dan refraktori bekas pakai *kiln* terhadap sifat fisik refraktori adalah semakin tinggi tekanan *green body*, maka semakin tinggi nilai kuat tekan dan *bulk density*, dengan nilai sebesar 4,84 MPa dan 1,119 g/cm<sup>3</sup>.

Sedangkan nilai konduktivitas termal dan *apparent porosity* akan semakin rendah, dengan nilai sebesar 11,60 W/m.K dan 22,034 %. Nilai terbaik tersebut didapatkan pada tekanan 13 ton. Pengaruh penambahan *fly ash* batu bara pada pembuatan refraktori bekas pakai *kiln* berpengaruh baik sebagai produk refraktori. Pengaruh baik tersebut untuk nilai kuat tekan dan konduktivitas termal, dengan nilai sebesar 2,30 MPa dan 12,17 W/m.K pada tekanan 10 ton. Sifat fisik refraktori *recycle* campuran dan *recycle* refraktori murni belum sebaik refraktori bekas pakai. Nilai dari refraktori bekas pakai diantaranya, kuat tekan sebesar 48,1920 MPa, *apparent porosity* sebesar 6,7385 %, *bulk density* sebesar 2,8072 g/cm<sup>3</sup>, dan konduktivitas termal sebesar 11,24 W/m.K. Sifat fisik refraktori *recycle* campuran dan *recycle* refraktori murni belum sesuai standar refraktori baru yang ada di pasaran.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) Tanjung Bintang – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Lampung atas dukungan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat berjalan lancar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Schutte, "Refractory recycling earning your environmental brownie points," *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Refractories Conference*, 2010, pp. 75-86.
- [2] M. B. Berger, "The importance and testing of density/porosity/permeability/pore size for refractories," *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Refractories Conference*, 2010, pp. 101-116.
- [3] L. Sylvia, "Types of refractory materials and their applications," *linked in*, 26, october, 2015 [online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/types-refractory-materials-applications-le-sylvia> [Accessed: 10, Agust, 2017].
- [4] S. Rupnarayan, "Fly ash: characteristics, problems and possible utilization," *Advances in Applied Science Research*, vol. 8, no. 3, pp. 32-50, 2017.
- [5] Harbinson & Walker, "Brick products," *Handbook of Refractory Practice*, Moon Township: Harbinson-Walker Refractory Company, pp. 1-2, 2005.

- [6] ASTM C177-04," Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate," Annu. B. ASTM Stand., 552, pp.1-23, 2015.
- [7] E. Brochen, "Cold crushing strength," *Review and Improvement of Testing Standard for Refractory Product*, 1, october, 2013. [Online] Available:<https://www.restar.eu/home/testing-standards-for-refractories/cold-crushing-strength>. [Accessed: 10, Agust, 2017].
- [8] N. Toniolo, K. Hurle, G. Taveri, dan A. R. Boccaccini, "Fly-ash-based geopolymers: How the addition of recycled glass or red mud waste influences the structural and mechanical properties," *Journal of Ceramic Science and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 411-419, 2017.
- [9] P. K. Sarker, R. Haque, dan K. V. Ramgolam," Fracture behaviour of heat cured fly ash based geopolymer concrete," *Mater. Des.*,vol. 44, pp. 580-586, 2013.
- [10] P. C. Aitcin, "High-performance concrete demystified," *Concrete International*, vol. 15, no. 1, pp. 21-26, 1993.