

## PENINGKATAN KUALITAS REFRAKTORI ALUMINA SILIKAT UNTUK PELEBURAN KUNINGAN DENGAN TEKNIK INFILTRASI

Ferli S.Irwansyah<sup>1</sup>, Juliandri<sup>1</sup>, Iwan Hastiawan<sup>1</sup>, Soewanto Rahardjo<sup>2</sup>, Rifki Septawendar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Anorganik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran,

Jl. Raya Bandung Sumedang Km.21 Jatinangor 40600 Tlp/Fax (022) 7794391

<sup>2</sup>Balai Besar Keramik Jl. Jend Ahmad Yani No. 392 Bandung 40272 Tlp (022) 7206296

E-mail: ferli\_q3a@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Kebutuhan akan bahan refraktori untuk industri pengolahan dan peleburan logam semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Peleburan logam kuningan memerlukan krus keramik dengan ukuran besar yang dikenal dengan nama "kowi". Oleh karena itu, dibutuhkan suatu bahan refraktori dari bahan mentah lokal yang lebih berkualitas, yaitu memiliki tingkat porositas yang rendah, kerapatan yang tinggi, dan kekuatan mekanik yang tinggi. Pada penelitian ini dilakukan peningkatan kualitas refraktori alumina silikat sebagai bahan untuk pembuatan kowi peleburan logam kuningan dengan teknik infiltrasi. Bahan baku berupa kaolin, alumina dan magnesium oksida yang telah ditentukan komposisinya, diperam, dicetak, dibakar setengah matang, diinfiltrasi dengan variasi konsentrasi, dibakar kembali dan selanjutnya di uji sifat fisik dan sifat kimianya, serta digunakan instrumen Scanning Electron Microscope (SEM) untuk menunjukkan morfologi dari refraktori alumina silikat yang telah terinfiltrasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa refraktori alumina silikat meningkat kualitasnya dengan nilai porositas sebesar 11,36%, densitas sebesar 2,34 kg/m<sup>3</sup>, penyerapan air 4,85%, dan kekuatan mekanik sebesar 129,072 kg/cm<sup>2</sup> sehingga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan "kowi" untuk peleburan logam kuningan di bidang industri.

**Kata kunci:** refraktori, refraktori alumina silikat, dan teknik infiltrasi

### ABSTRACT

**IMPROVEMENT REFRACTORY QUALITY OF ALUMINA SILICATE FOR BRASS SMELTING WITH INFILTRATION TECHNIQUE.** Requirement of refractory materials for manufacturing industry and metal smelting is increasing along technology development. Brass smelting needs a larger size ceramic crucible which is known by the name "kowi". Therefore, it needed a refractory material from local raw materials are higher quality, which has a low porosity, high density, and high mechanical strength. In this study was conducted increasing refractory quality of alumina silicate as a material for manufacturing a brass smelting kowi by infiltration technique. The raw materials such as kaolin, alumina, and magnesium oxide that has been determinate composition were brooded, printed, half-baked burned, infiltrated with a various concentrations, and then burned again, physical and chemical characteristic testing, and also used a Scanning Electron Microscope (SEM) to show morphology of refractory alumina silicate that have been infiltrated. The result showed that refractory alumina silicate was increase the qualities with porosity value of 11,36%, density value of 2,34 kg/m<sup>3</sup>, water absorbent of 4,85%, and mechanical strength of 129,072 kg/cm<sup>2</sup> which can be used as "kowi" material for brass smelting industry.

**Keywords:** refractory, alumina silicate refractory, and infiltration technique

### PENDAHULUAN

Di dunia industri, khususnya yang bergerak di bidang pengolahan dan peleburan logam sangatlah diperlukan suatu bahan yang tahan terhadap api (suhu tinggi), salah satu contohnya adalah dalam memproduksi kuningan dengan sistem cor, diperlukan suatu krusibel dari suatu refraktori sebagai peleburan logamnya. Pada kondisi saat ini, industri refraktori masih mengalami kesulitan dalam memenuhi kebutuhan bahan mentah lokal, karena mutunya tidak konsisten dan

kemampuan pasoknya kecil, serta hanya diusahakan oleh perusahaan kecil pertambangan (Suripto & Edwin, 2008) [1]. Dalam pemakaiannya, keawetan atau umur pakai refraktori ditentukan oleh mutu agregatnya yang tidak saja harus tahan terhadap suhu tinggi, tetapi juga harus *inert* atau tidak bereaksi secara kimia dengan leburan bahan padat dan gas yang bersinggungan dengannya. Untuk meningkatkan kinerja refraktori terutama di industri-industri yang mengoperasikan tungku atau dapur peleburan bahan logam atau

nonlogam, diperlukan bahan baku agregat yang memiliki stabilitas kimia dan fisika yang tinggi pada suhu operasi tinggi (di atas 1400°C) (Anonymous<sup>1</sup>, 1985) [2].

Efek sentuhan leburan panas dari material yang dilebur menyebabkan terjadinya penetrasi, korosi, dan erosi leburan material ke badan refraktori. Akibatnya dalam waktu tertentu lapisan refraktori mengalami kerusakan sehingga memerlukan penggantian. Kerusakan refraktori juga terjadi akibat deformasi pada rangka alat pemanasnya karena variasi suhu dan adanya bagian-bagian yang lewat panas (*over heating*) ataupun karena operasi alat pemanas yang suhunya berubah dengan cepat dan tidak berlanjut. Intensitas kerusakan refraktori sangat tergantung kepada kondisi operasi alat pemanasnya yang sangat bervariasi (Bartha, 2008) [3].

Dibutuhkan suatu upaya untuk meningkatkan kualitas dari suatu refraktori yang dibuat dari bahan-bahan mentah lokal. Salah satunya adalah dengan cara teknik infiltrasi. Maka dari itu, dilakukan suatu penelitian dalam upaya peningkatan kualitas refraktori alumina silikat sebagai bahan untuk pembuatan kowi peleburan logam kuningan. Dengan teknik infiltrasi ini tingkat porositas dari kowi akan menurun, sehingga peleburan kuningan akan lebih optimal dikarenakan logam yang meleleh tidak masuk ke dalam badan refraktori.

Dengan keberhasilan dari penelitian ini, diperoleh data tentang peningkatan kualitas pembuatan kowi dari bahan mentah lokal, sehingga dapat membantu industri dalam penyediaan alat produksi yang relatif murah dan tersedia di dalam negeri.

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dikaji dititikberatkan pada :

1. Bagaimana meningkatkan kualitas refraktori alumina silikat yang digunakan sebagai bahan untuk pembuatan kowi peleburan logam kuningan dengan teknik infiltrasi?
2. Bagaimana menguji refraktori baik secara kimia serta sifat fisik, dan keramik?

Maksud dari penelitian ini adalah meningkatkan kualitas dari refraktori alumina silikat dengan teknik infiltrasi sebagai krusibel peleburan logam kuningan, adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membandingkan kualitas antara refraktori alumina silikat yang dibuat dengan teknik infiltrasi dengan non infiltrasi.
2. Mengkarakterisasi hasil sintesis secara kimia, fisika, dan keramik.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Refraktori

#### Pengertian Refraktori

Menurut terminologi ASTM-C-71-99a, refraktori (*refractory*) menurut pengertian bahasa berarti tahan terhadap temperatur tinggi. Menurut terminologi, refraktori didefinisikan sebagai bahan anorganik bukan logam yang memiliki sifat kimia dan fisika sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk bahan konstruksi struktur atau sebagai komponen suatu sistem yang dikenai lingkungan panas dengan suhu minimum 1000 °F (Anonymous<sup>2</sup>, 2000) [4].

#### Refraktori Alumina Silikat

Seperti diketahui bahan refraktori adalah material non logam yang tahan terhadap suhu tinggi untuk waktu yang lama. Tergantung pada komposisinya salah satu kegunaan bahan refraktori adalah untuk peleburan logam. Bahan baku krusibel refraktori terdiri atas *ball clay*, kaolin, talk dan alumina.

Bahan-bahan refraktori dibuat dengan kombinasi dan bentuk yang bervariasi tergantung pada penggunaannya. Persyaratan-persyaratan umum bahan refraktori adalah tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak, tahan terhadap lelehan terak logam, kaca, gas panas, dan lain-lain, tahan terhadap beban pada kondisi perbaikan, tahan terhadap beban dan gaya abrasi, menghemat panas, memiliki koefisien ekspansi panas yang rendah, tidak boleh mencemari bahan yang bersinggungan (The Carbon Trust, 1993) [5].

Refraktori asam atau alumina silikat. Refraktori asam dapat disebut juga sebagai refraktori silika dan refraktori semi asam disebut juga refraktori alumina silikat dengan kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih dari 30%. Sedangkan sifat refraktori alumina silikat antara lain: konduktifitas suhu relatif rendah, koefisien muai panas kecil, tahan abrasi dan spalling serta tahan terhadap *slag* asam maupun *slag* basa (Subari & Rachman, 2002) [6].

Singer, F & S. Singer berpendapat bahwa untuk komposisi dalam perbandingan tertentu keramik yang mencapai suhu 1300 °C, pemakaian *ball clay* berkisar 15-25%. Apabila kadarnya lebih tinggi dari 25% mengakibatkan berkurangnya sifat dari badan keramik dan akan banyak timbul retak-retak. Demikian juga dengan penambahan talk yang merupakan pelebur yang baik dimana badan keramik akan cepat padat. Adanya unsur alumina dan silikat pada komposisi krusibel refraktori, memiliki fungsi masing masing seperti alumina akan meningkatkan titik lebur, meningkatkan kekuatan mekanik serta ketahanan terhadap abrasi. Sedangkan silika selain bersifat tahan api juga mengurangi penyusutan dan meningkatkan ketahanan asam (Singer & Singer, 1979) [7].

### Teknik Infiltrasi

Porositas adalah hal yang unik dan menjadi masalah yang terjadi di dunia industri metalurgi. Banyak cara yang dilakukan untuk mengatasi masalah porositas tersebut, diantaranya dengan cara mengisi pori atau rongga tersebut dengan logam atau polimer. Secara umum ada dua klasifikasi teknik yang sering dilakukan untuk mengatasi masalah porositas tersebut, yaitu:

#### 1. *Impregnation* (Pengisian)

Suatu teknik dengan cara mengisi pori oleh larutan minyak atau fluida lainnya yang dirembeskan atau ditembuskan ke dalam pori yang terbentuk ketika proses pembakaran. Cara lainnya adalah dengan melakukan pengisian dengan resin polimer yang akan meresap ke dalam ruangan pori dalam bentuk larutan.

#### 2. *Infiltration* (Infiltrasi)

Suatu teknik pengisian pori dari suatu bahan keramik dengan menggunakan logam yang telah dicairkan. Beberapa hal penting dalam teknik infiltrasi, diantaranya adalah:

- Titik lebur dari logam yang akan diisikan ke dalam pori harus lebih rendah daripada titik lebur bahan keramik
- Melibatkan pemanasan dari logam yang akan diisikan dengan bahan keramik yang sebelumnya telah dibakar setengah matang (dalam bentuk biskuit) agar gaya kapilaritas dari logam pengisi dapat masuk ke dalam pori.
- Struktur hasil infiltrasi menjadi relatif tidak berpori (*non porous*) dan bagian yang telah terinfiltrasi memiliki densitas yang relatif lebih seragam, yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan

dari bahan yang telah diinfiltrasikan tersebut (Medraj, 2009) [8].

## METODE PENELITIAN

### Pembuatan krusibel refraktori alumina silikat dengan teknik infiltrasi

Bahan baku dengan ukuran butiran lolos ayakan 0,5-1,5 mm ditimbang sesuai komposisi pada Tabel 1. Kepada masing-masing komposisi ditambahkan bahan perekat, seperti CMC dan air antara 7-10% dari berat total bahan. Kemudian dilakukan pengadukan atau pencampuran sampai homogen sehingga terbentuk massa granulasi, setelah itu dilakukan pemeraman selama satu hari. Massa yang telah homogen setelah pemeraman disiapkan untuk proses pembentukan dengan metode *press*. Pencetakan dengan mesin *press hidrolik (hydraulic press machine)*. Massa granulasi yang dipakai sebanyak 80 gram dimasukkan ke dalam cetakan baja, kemudian ditekan dengan mesin *press hidrolik* pada tekanan 5 ton. Krusibel dikeluarkan dari cetakan, kemudian dilakukan pengeringan. Pengeringan dilakukan dalam suhu ruangan. Krusibel yang telah kering selanjutnya dibakar pada suhu 900 °C ditahan selama delapan jam (pembakaran biskuit).

Krusibel yang telah dibakar, dilapisi dengan zat penginfiltrasi dengan konsentrasi 5% yang terbuat dari bahan penyusunnya yang sebelumnya sudah dihaluskan terlebih dahulu dan diayak pada ukuran 325 mesh dan dilarutkan dalam air suling dengan penambahan *Water Glass* sebanyak 2%. Setelah itu, dibakar kembali pada suhu 1400 °C sampai zat penginfiltrasi masuk ke dalam pori - pori dari krusibel. Proses infiltrasi ini diulang dengan mengganti konsentrasi zat penginfiltrasinya (10%, 15%, 20%, dan 25%).

**Tabel 1.** Rancangan komposisi refraktori alumina silikat

Jenis Oksida	A (%)
SiO <sub>2</sub> (diambil dari kaolin Belitung)	96,46
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,84
Magnesium Oksida (MgO)	10,50

Keterangan : A = komposisi optimal hasil penelitian yang telah dilakukan (Suhanda & Soewanto, 2002) [9]

### Pencetakan Benda Uji

Komposisi yang telah homogen dicetak dengan bentuk sesuai dengan uji yang akan dilakukan. Benda uji dibuat untuk uji kimia, fisik, mineral (morfologi), dan keramik. Dalam pembuatan benda uji dilakukan dengan menambahkan bahan perekat, seperti CMC dan air antara 7-10%. Untuk pencetakan digunakan alat *press* dengan tekanan antara 3-5 ton dan dicegah agar tidak laminasi atau hancur setelah keluar dari cetakan. Untuk uji ketahanan *slag*, benda uji dibuat dalam bentuk krus untuk dipakai melebur logam kuningan pada krus tersebut dan dilihat secara visual kemampuan menahan cairan dari leburan logam kuningan.

### Pengeringan Benda Uji

Benda uji yang telah dibuat dikeringkan pada udara terbuka dan di oven pengering sampai contoh kering dan siap dibakar. Suhu pengeringan diatur mulai 300 °C – 100 °C.

### Infiltrasi Benda Uji

Krusibel yang telah dibakar, dilapisi dengan zat penginfiltrasi dengan konsentrasi 5% yang terbuat dari bahan penyusunnya yang sebelumnya sudah dihaluskan terlebih dahulu dan diayak pada ukuran 325 mesh dan dilarutkan dalam air suling dengan penambahan *Water Glass* sebanyak 2%. Setelah itu, dibakar kembali pada suhu 1400 °C sampai zat penginfiltrasi masuk ke dalam pori-pori dari krusibel. Proses infiltrasi ini diulang dengan mengganti konsentrasi zat penginfiltrasinya (10%, 15%, 20%, dan 25%).

### Pembakaran Benda Uji

Benda uji yang telah diinfiltrasi dibakar menggunakan tungku gas atau *gas kiln* pada suhu 1400 °C pembakaran sampai didapat hasil bakaran yang optimal. Dalam proses pembakaran ini, suhu pembakaran, trayek pembakaran dan kondisi pembakaran akan dicatat dan dievaluasi sebagai bahan kajian.

### Pengujian sifat kimia, fisik, dan keramik

Produk hasil pembakaran benda uji, dilakukan uji sifat kimia, untuk mengetahui struktur morfologi dari pembentukan refraktori tersebut dengan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM). Selain itu dilakukan uji fisik (porositas, densitas, penyerapan air, dan kekuatan mekanik) serta uji keramik untuk mengetahui kehandalan dari

refraktori yang disintesis dari sifat-sifat keramikanya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk membuktikan terjadinya peningkatan kualitas dari refraktori alumina silikat yang telah diinfiltrasi, maka dilakukanlah beberapa uji terhadap sifat fisik, kimia, dan keramikanya. Parameter peningkatan kualitas refraktori alumina silikat ini dibatasi oleh peningkatan densitas, penurunan porositas dan penyerapan air, peningkatan kekuatan dan bentuk morfologi yang lebih rapat dan homogen. Untuk menghitung densitas, porositas, dan penyerapan air dibutuhkan data berat kering, berat basah, dan berat dalam air dari benda uji atau krus yang akan diamati sifat – sifat fisiknya. Hal tersebut dilakukan dengan menimbang berat benda uji dan krus dengan neraca analitis pada saat kondisi kering, di dalam air dan basah.

Perhitungan untuk menentukan besarnya kekuatan mekanik dari refraktori tersebut pun dilakukan dengan menggunakan suatu alat penentu kuat lentur bahan keramik (*bending press machine*). Hasil dari penggunaan alat tersebut akan menghasilkan data berat beban, lebar patahan, dan tinggi patahan. Adapun rumus yang digunakan dalam mencari kekuatan mekanik pada refraktori tersebut adalah :

$$\text{Kekuatan} = \frac{3GP}{2L(T)^2}$$

dengan, G = Berat beban / Kg  
P = penumpu (10 cm)  
L = lebar patahan / cm  
T = tinggi patahan / cm

Pada uji kekuatan ini, dilakukan pula uji gores untuk memperlihatkan kekerasan dari suatu bahan keramik. Uji dilakukan dengan cara menggoreskan batuan mineral alam yang sudah disediakan menurut tingkat kekerasannya (dalam skala mosh). Skala itu menunjukkan 1 untuk terlunak dan 10 untuk terkeras. Kekerasan suatu bahan diukur dengan mencari bahan terkeras yang dapat digores oleh bahan yang diukur, dan/atau bahan terlunak yang dapat menggores bahan yang diukur. Tabel di bawah ini menunjukkan perbandingan dengan kekerasan mutlak yang diukur oleh sklerometer.

Refraktori yang sudah diinfiltrasi, dapat tergores oleh batuan *quarz*. Hal ini berarti

tingkat kekerasan untuk refraktori yang sudah diinfiltrasi mencapai angka 6 - 7 pada skala mosh (6,5 mosh). Refraktori ini memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan refraktori yang tidak diinfiltrasi yang hanya mencapai angka 3 – 4 pada skala mosh (3,5 mosh). Sekali lagi ini menunjukkan peningkatan kualitas dari refraktori alumina silikat yang telah diinfiltrasi dengan ditandainya peningkatan kekerasan dari refraktori itu sendiri.

Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung besarnya densitas, porositas, dan penyerapan air. Untuk menghitung densitas digunakan rumus :

$$\text{Densitas} = \frac{BK}{BB - BDA}$$

sedangkan untuk mencari porositas dan penyerapan air dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\text{Porositas} = \frac{BB - BK}{BB - BDA} \times 100 \%$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{BB - BK}{BK} \times 100 \%$$

**Tabel 2.** Urutan Kekuatan Mineral (dalam skala Mosh)

Skala	Mineral	Kekerasan Mutlak
1	Kapur ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ )	1
2	Gypsum ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )	2
3	Kalsit ( $CaCO_3$ )	9
4	Fluorit ( $CaF_2$ )	21
5	Apatit ( $Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$ )	48
6	Feldspar ( $KAlSi_3O_8$ )	72
7	Quartz ( $SiO_2$ )	100
8	Topaz ( $Al_2SiO_4(OH, F)_2$ )	200
9	Korundum ( $Al_2O_3$ )	400
10	Batu permata (C)	1500

**Tabel 3.** Data Uji Kekuatan Refraktori

No	Konsentrasi Infiltran	Berat Beban (G) / Kg	Lebar (L) / cm	Tinggi (T) / cm
1	Tanpa Infiltran	15,13	2,074	1,118
2	5 %	19,25	2,033	1,049
3	10 %	12,00	2,026	1,059
4	15 %	8,00	2,076	1,110
5	20 %	9,00	2,074	1,118
6	25 %	8,13	2,090	1,118

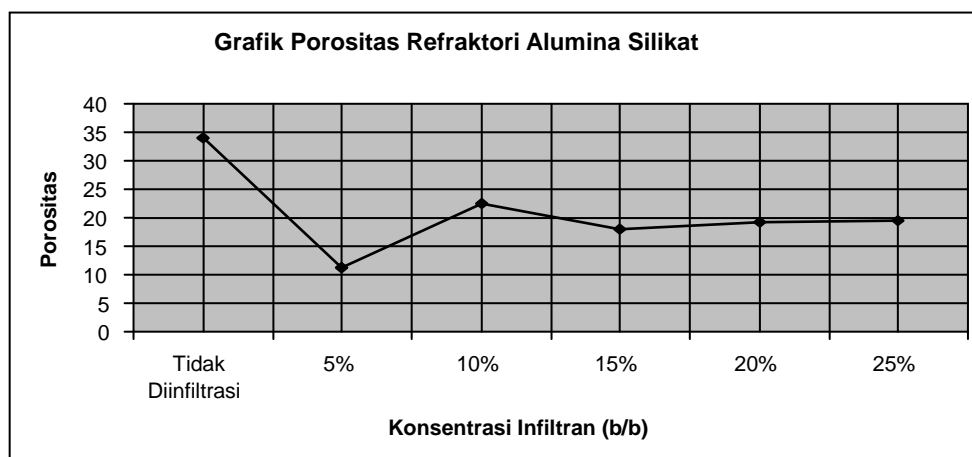
**Tabel 4.** Sifat Fisik Refraktori Alumina Silikat Terinfiltrasi dan Tidak Terinfiltrasi

No	Konsentrasi Infiltran	Densitas Kg/m <sup>3</sup>	Porositas %	Penyerapan Air %	Kekuatan Kg/cm <sup>2</sup>
1	Tidak Diinfiltrasi	1.86	33.94	18.29	87.517
2	5%	2.34	11.36	4.85	129.072
3	10%	2.16	22.61	10.44	79.221
4	15%	2.23	18.07	8.11	46.915
5	20%	2.23	19.37	8.70	52.076
6	25%	2.21	19.44	8.81	46.654

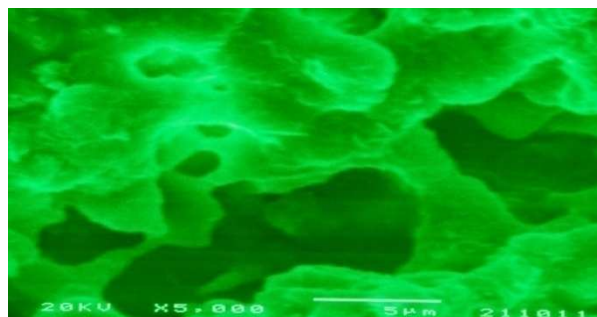
Pada tabel di atas dapat ditunjukkan bahwa terjadi peningkatan densitas dan kekuatan serta terjadinya penurunan porositas dan penyerapan air pada refraktori yang telah diinfiltrasi. Kualitas terbaik dihasilkan oleh refraktori yang diinfiltrasi dengan infiltran berkonsentrasi 5%. Terjadi peningkatan densitas dari  $1,86 \text{ kg/m}^3$  menjadi  $2,34 \text{ kg/m}^3$ , adanya penurunan porositas dan penyerapan air dari 33,94% dan 18,29% menjadi 11,36% dan 4,85%. Ini menunjukkan bahwa infiltran telah berhasil masuk ke dalam pori refraktori. Berkaitan dengan pengaruh variasi konsentrasi, data tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi di atas 5% tidak memberikan pengaruh yang signifikan atau relatif sama. Hal ini berarti bahwa konsentrasi encer lebih optimal untuk dapat masuk ke dalam pori refraktori dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih pekat, walaupun infiltran dengan konsentrasi di atas 5% pun dapat menurunkan tingkat porositas jika

dibandingkan dengan refraktori yang tidak diinfiltrasi.

Sebenarnya, jika dilihat dari data yang dihasilkan terlihat bahwa peningkatan kualitas dari refraktori ini tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan proses pembakaran yang kurang sempurna dan kondisi suhu tungku yang berbeda di setiap ruang dalam tungku tersebut. Hal ini menyebabkan tidak semua benda uji mendapatkan suhu yang sama yaitu  $1400^\circ\text{C}$ , ada beberapa benda uji yang mendapatkan suhu di bawah suhu  $1400^\circ\text{C}$ . Belum lagi pada tahap *soaking periode* atau penahanan suhu yang dilakukan tidak terlalu lama, biasanya tahap ini dilakukan minimal selama dua jam. Faktor – faktor itulah yang menyebabkan tidak optimalnya pengaruh teknik infiltrasi terhadap peningkatan suatu refraktori khususnya pada refraktori alumina silikat ini.



Gambar 1. Grafik Hubungan Porositas Dengan Konsentrasi Infiltran



Gambar 2. Refraktori Alumina Silikat yang tidak diinfiltrasi

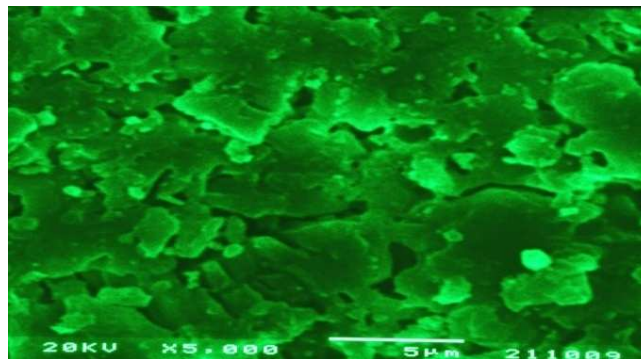
Hasil proses infiltrasi pada refraktori alumina silikat, secara *visual* dapat terlihat bahwa infiltran hanya dapat masuk ke dalam pori yang berada pada permukaan refraktori saja. Hal ini dapat disebabkan oleh partikel infiltran yang tidak dapat mengisi pori pada refraktori atau kurangnya tekanan yang dapat membuat penetrasi infiltran untuk masuk ke dalam pori tidak maksimal. Untuk itu dilakukan analisa terhadap morfologi pada permukaan refraktori yang sudah terinfiltrasi untuk membuktikan bahwa infiltran telah masuk ke dalam pori pada permukaan refraktori tersebut. Gambar 2 menunjukkan hasil analisa SEM pada refraktori alumina silikat yang tidak diinfiltrasi. Agar dapat dibandingkan dengan morfologi refraktori yang diinfiltrasi, maka analisa dilakukan pada bagian permukaan refraktori saja dengan pembesaran 5.000 kali sama halnya seperti analisa yang dilakukan pada morfologi permukaan refraktori yang sudah diinfiltrasi.

Gambar tersebut juga menunjukkan ukuran pori yang cukup besar yaitu sekitar lebih dari 10  $\mu\text{m}$ . Porositas adalah suatu akibat yang selalu dihasilkan dari proses pembakaran suatu bahan keramik, namun setiap proses pembakaran tersebut dapat menimbulkan

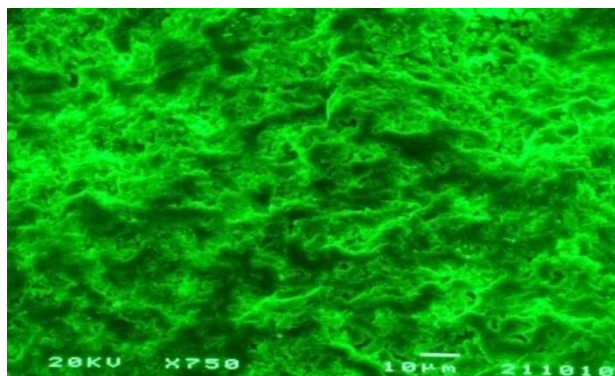
porositas yang berbeda – beda. Pori itulah yang nantinya akan diisi dan ditutupi oleh infiltran yang berhasil masuk ke dalam pori permukaan pada refraktori tersebut.

Gambar 3 menunjukkan hasil analisa SEM terhadap morfologi refraktori alumina silikat yang sudah diinfiltrasi. Analisa tersebut dilakukan pada permukaan refraktori dengan pembesaran yang sama dengan sebelumnya yaitu 5000 kali. Dapat terlihat secara jelas perbedaan antara morfologi permukaan refraktori yang diinfiltrasi dengan yang tidak terinfiltrasi. Daerah yang terinfiltrasi memperlihatkan morfologi yang lebih rapat dan relatif homogen. Hal ini membuktikan bahwa infiltran yang dapat masuk ke dalam pori permukaan berasal dari mineral yang sama dengan bahan penyusun refraktori tersebut, yang ditunjukkan oleh bentuk morfologi yang homogen atau serupa.

Dapat terlihat pula ukuran pori yang lebih kecil daripada ukuran pori pada morfologi yang tidak terinfiltrasi. Pada Gambar 3 tersebut dapat diperkirakan ukuran pori hanya mencapai kurang lebih 1  $\mu\text{m}$ , sepuluh kali lipat jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pori yang tidak terinfiltrasi.



**Gambar 3.** Refraktori Alumina Silikat yang sudah diinfiltrasi



**Gambar 4.** Daerah yang terinfiltrasi dan yang tidak terinfiltrasi pada satu sampel

Pada proses infiltrasi ini ternyata infiltran hanya dapat masuk ke dalam pori pada permukaan refraktori saja, sehingga bagian dalam dari refraktori itu sendiri belum terinfiltrasi, maka dapat dikatakan pula bahwa kekuatan pada bagian permukaan akan lebih baik jika dibandingkan dengan bagian dalamnya.

Oleh karena itu, pada Gambar 4 akan ditunjukkan bahwa pada satu sampel akan terdapat bagian yang sudah terinfiltrasi dan ada juga bagian yang belum dapat terinfiltrasi. Perbandingan morfologi antara daerah yang sudah terinfiltrasi dengan daerah yang belum terinfiltrasi pada satu sampel hanya dapat terlihat pada pembesaran 750 kali. Dapat terlihat bahwa daerah yang sudah terinfiltrasi nampak relatif lebih gelap dibandingkan dengan daerah yang belum terinfiltrasi yang pada gambar tersebut terlihat lebih terang. Hal ini disebabkan bahwa bagian gelap tersebut menunjukkan bahwa pori – porinya telah tertutupi oleh infiltran, sedangkan bagian yang lebih terang menunjukkan bahwa ukuran pori – pori masih besar dan tidak tertutupi oleh mineral tertentu. Pembuktiannya dapat diperlihatkan pada gambar sebelumnya yaitu gambar 4.2 dan 4.3 yang sudah mengalami pembesaran 5000 kali sehingga dapat terlihat secara jelas perbedaan morfologi antara daerah yang sudah terinfiltrasi dengan daerah yang belum terinfiltrasi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa:

1. Terjadi peningkatan kualitas refraktori alumina silikat yang sudah diinfiltrasi jika dibandingkan dengan refraktori alumina silikat yang tidak diinfiltrasi.
2. Refraktori alumina silikat yang sudah diinfiltrasi dengan konsentrasi infiltran 5% memiliki densitas sebesar 2,34 g/cm<sup>3</sup>, porositas sebesar 11,36%, penyerapan air 4,85%, kekuatan sebesar 129,072 kg/cm<sup>2</sup>, dan morfologi yang rapat dan relatif homogen, sedangkan refraktori alumina silikat yang tidak diinfiltrasi memiliki densitas sebesar 1,86 kg/m<sup>3</sup>, porositas sebesar 33,94%, penyerapan air 18,29%, kekuatan sebesar 87,517 kg/cm<sup>2</sup>, dan morfologi pori yang tidak rapat dengan ukuran pori yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Suropto & F. Edwin. 2008. Pengembangan bahan mentah lokal untuk industri refraktori. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*. 17(1), 12-16.
2. Anonymous<sup>1</sup>. 1985. *Refractory Manufacturing Technology*. Minoyogyo Co.Ltd. Nagoya.
3. Bartha, P. 2008. The Cement Rotary Kiln and Its Refractory Lining. *Inter-ceram, Refractories Manual*. P.14-17.
4. Anonymous<sup>2</sup>, ASTM C71-99a. 2000. Standard terminology relating to refractories. *Annual Books of ASTM Standar*. 15(1).
5. The Carbon Trust. Energy Efficiency Office, UK Government. 1993. *Good Practice Guide 76 –Continuous Steel Reheating Furnaces: Specification Design and Equipment*. [www.thecarbontrust.co.uk/energy/pages/home.asp](http://www.thecarbontrust.co.uk/energy/pages/home.asp).
6. Subari & C. Rachman. 2002. Refraktori asam dan alumina silikat. *Informasi Teknologi dan Gelas*. 23(84-85), 17-20.
7. Singer, F & S Singer. 1979. *Industrial Ceramics*. Chapman and Hall. London.
8. Medraj, M. 2009. *Powder Metallurgy*. Mech Eng.Dept. - Concordia University. Montreal.
9. Suhandha & S. Rahardjo. 2002. Sintesis dan Karakterisasi Alkorit Hasil Sistem Campuran Bahan Mentah dan Semi Aktif. *Jurnal Nusantara Kimia*. 9(1), 41-46.
10. Bureau of Energy Efficiency. 2005. *Energy Efficiency in Thermal Utilities*. Ministry of Power. India.