

PEMBUATAN BAHAN REFRAKTORI ALUMINA DARI RESIDU BAUKSIT

MUCHTAR AZIZ

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: muchtar@tekmira.esdm.go.id

SARI

Penelitian ini dilakukan dalam rangka pemanfaatan residu bauksit, sehubungan sedang dibangunnya pabrik alumina di Kalimantan Barat oleh PT. Antam. Residu bauksit merupakan limbah yang dikeluarkan oleh pabrik alumina. Residu bauksit diekstraksi aluminanya melalui proses sinter soda-kapur dan pelarutan untuk mendapatkan alumina hidrat. Alumina hidrat yang dihasilkan dibuat garam aluminium, kemudian disintesis dengan asam silikat pada variasi perbandingan berat Al_2O_3/SiO_2 90:10, 85:15, dan 80:20 untuk membentuk bahan refraktori berupa senyawa aluminosilikat. Bahan refraktori yang dihasilkan telah diuji dengan cara pancang seger (PCE) dan mikroskop pemindai elektron (SEM). Hasil uji PCE menunjukkan bahan refraktori yang dihasilkan termasuk kelas SK-34 yang mempunyai ketahanan terhadap suhu setara dengan suhu 1.763°C. Hasil SEM pada benda uji PCE menunjukkan tekstur kristal-kristal fasa mulit berbentuk jarum (*needle-like mullite*) dan butiran (*granular mullite*).

Kata kunci : residu bauksit, alumina, refraktori, mulit

ABSTRACT

This research was carried out to utilize bauxite residue (red mud) in connection with the erection of alumina plant by PT. Antam in West Kalimantan. Bauxite residue is a waste material of alumina plant. Alumina can be extracted from bauxite residue through a series of soda-lime sinter and leaching processes to obtain hydrated alumina. Hydrated alumina was reacted to form aluminium salt and then was synthesized with silicic acid in the weight ratio of Al_2O_3/SiO_2 90:10, 85:15, and 80:20 consecutively to form refractory materials based aluminosilicate. These obtained refractory materials have been tested using PCE (Pyrometric Cone Equivalent) and SEM (Scanning Electron Microscope) methods. The tested PCE shows that the refractory materials can be classified as SK-34 with temperature endurance of 1,763°C. The SEM image of the PCE specimen shows the texture as needle-like mullite and granular mullite.

Keywords : bauxite residue, alumina, refractory, mullite

PENDAHULUAN

Saat ini di Kalimantan Barat sedang dibangun pabrik pengolahan bijih bauksit menjadi alumina (Al_2O_3) oleh PT. Antam. Bijih bauksit akan diolah menjadi alumina kualitas kimia (*Chemical Grade Alumina*) melalui proses Bayer. Proses tersebut akan menyisakan residu bauksit (*red mud*) yang cukup banyak, yaitu sekitar 45-50 % dari bijih bauksit yang diolah. Residu bauksit merupakan hal yang umum terjadi pada pabrik alumina di berbagai belahan dunia dan berpotensi menjadi masalah lingkungan.

Residu bauksit akan mencemari permukaan tanah (*top soil*) dan air tanah (*ground water*) yang disebabkan karena sifatnya yang sangat basa dan berukuran partikel sangat halus (Pontikes, 2006). Residu bauksit akan terakumulasi dalam jumlah yang besar jika tidak diiringi dengan pemanfaatannya.

Berbagai studi pemanfaatan residu bauksit masih terus berlangsung terutama di negara-negara penghasil alumina (Sharif, 2005). Negara yang memiliki deposit bauksit besar seperti Indonesia (Anonim, 1984) perlu mengantisipasi masalah residu bauksit ini sejak

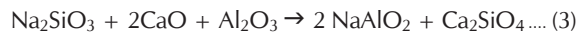
dini melalui berbagai studi pemanfaatan dan aplikasinya. Studi pemanfaatan residu bauksit dari bijih bauksit Kalimantan Barat diantaranya adalah untuk pembuatan bahan refraktori. Sebagaimana diketahui kebutuhan refraktori industri domestik cukup besar dan masih dipenuhi melalui impor. Salah satu bahan baku refraktori yaitu mulit pada tahun 1996 diimpor sebanyak 250 ton dan pada tahun 2000 impornya meningkat menjadi 700 ton (Aziz dan Ngurah-Ardha, 2006). Bahan baku refraktori lainnya adalah camot, andalusit, kianit, silimanit, dan zirkon, jumlah impornya sekitar 500-1000 ton per tahun.

Alumina sebagai bahan dasar refraktori diambil dari residu bauksit melalui proses sinter soda-kapur dan pelarutan (Alp dan Aydin, 2002). Selanjutnya alumina yang dihasilkan dibuat garam aluminium, kemudian disintesis dengan asam silikat menjadi aluminosilikat pembentuk fasa mulit. Fasa mulit merupakan fasa yang memiliki sifat refraktori dengan ketahanan terhadap suhu sampai sekitar 1.800°C. Penelitian pembuatan bahan refraktori berbasis aluminosilikat juga pernah dilakukan oleh Ngurah-Ardha dan Aziz (2007), untuk pembuatan refraktori cor dari abu terbang (*fly ash*) pembakaran batubara PLTU Suralaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa refraktori cor yang dihasilkan termasuk kelas SK-16, yang mempunyai ketahanan terhadap suhu setara dengan 1460°C.

Pengujian ekstraksi alumina dari bijih bauksit Kalimantan Barat menggunakan proses Bayer telah menghasilkan alumina dengan persen ekstraksi sekitar 85 %, serta residu bauksit yang masih mengandung Al₂O₃ sekitar 20 %. Penelitian ini diawali dengan ekstraksi alumina dari residu bauksit melalui proses sinter soda-kapur dengan cara pemanggangan terhadap campuran residu-soda kaustik-kapur pada suhu sekitar 800 °C. Produk yang dihasilkan berupa sinter yang mudah larut dalam larutan encer sodium karbonat, menghasilkan larutan sodium aluminat (Na₂O.Al₂O₃ atau 2NaAlO₂). Reaksi pensinterannya adalah (Habashi, 1997) :



Jika di dalam umpan pensinteran ditambahkan CaO, maka sodium silikat bereaksi dengan CaO dan Al₂O₃ membentuk senyawa sodium aluminat yang dapat larut dan dikalsium silikat yang tidak larut. Reaksinya adalah (Padilla dan Sohn, 1985 (a) ; Padilla dan Sohn, 1985 (b)) :

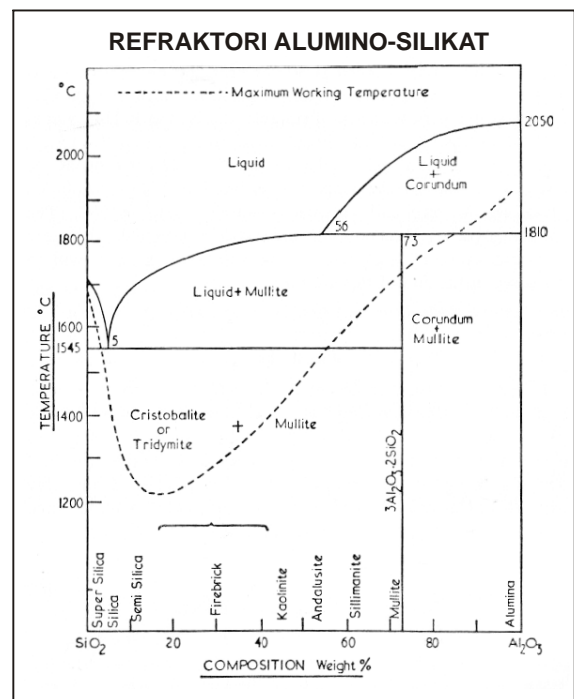


Larutan sodium aluminat diendapkan melalui penetralan dengan asam klorida menghasilkan endapan alumina hidrat (Al(OH)₃). Pengendapan dengan HCl terjadi berdasarkan reaksi :



Pembuatan refraktori aluminosilikat dari sodium aluminat mengacu pada diagram kesetimbangan Al₂O₃-SiO₂ seperti ditunjukkan pada Gambar 1, dengan berbagai komposisi refraktori terlihat di dalamnya. Sampai suhu 1.545°C bata api aluminosilikat (*firebrick*) memiliki struktur mulit dan silika. Di atas 1.545°C terbentuk cairan dengan struktur matriks mulit berbentuk jarum-jarum (*needles*) dengan cairan di sela-selanya.

Pada kandungan Al₂O₃ lebih tinggi, yaitu pada 73 % Al₂O₃ yakni komposisi mulit; proporsi cairan pada 1.545°C turun sampai 0 (nol) dan diabaikan sampai 1.810°C. Oleh karena itu, pembuatan refraktori alumina didasarkan pada komposisi diagram (Gambar 1), sesuai dengan ketahanan terhadap suhu yang diinginkan. Bahan refraktori alumina maupun refraktornya diuji dengan metode pancang seger atau PCE (*Pyrometric Cone Equivalent*). Sesuai diagram



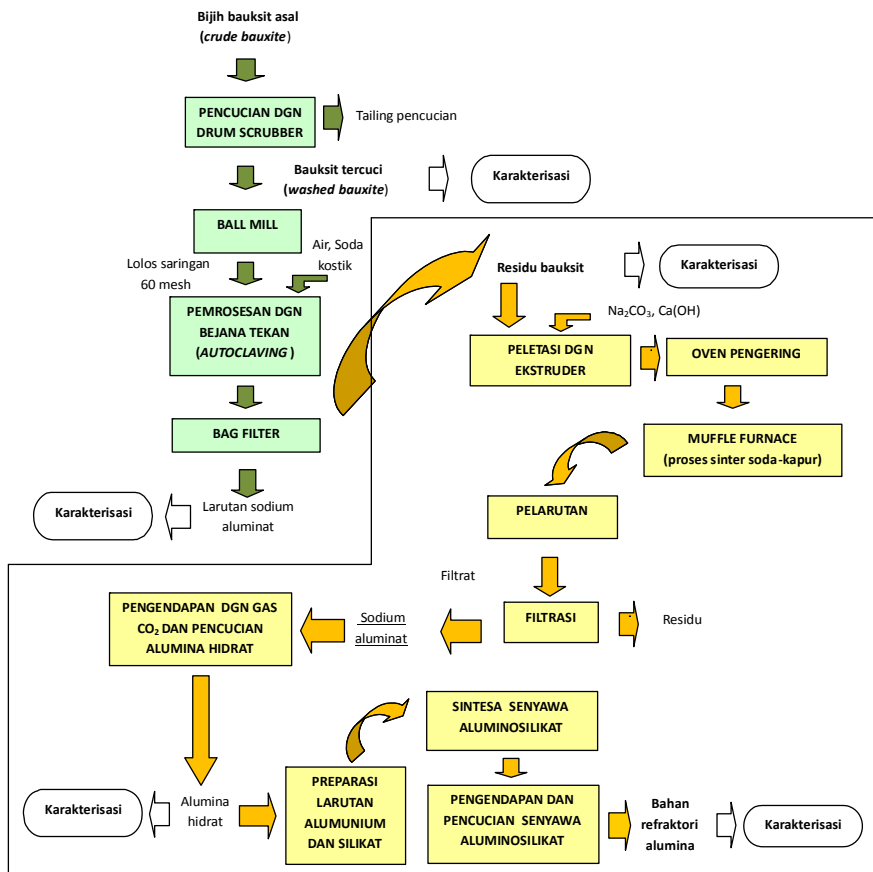
Gambar 1. Diagram kesetimbangan Al₂O₃-SiO₂ (Gilchrist, 2007)

di atas suhu maksimum pengujian refraktori alumina-silika dengan kandungan Al_2O_3 antara 73 % sampai mendekati 100 % adalah 1.800 °C.

METODOLOGI

Terhadap residu bauksit dilakukan analisis mineralogi dan analisis kimia. Residu bauksit dicampur dengan imbuhan kapur tohor (CaO) dan soda kaustik (NaOH) dalam jumlah stoikiometri berlebih 10 %. Campuran diberi sedikit air sehingga menjadi adonan untuk dibentuk pelet. Pelet dikeringkan pada suhu kamar, kemudian dipanggang pada suhu 800 °C selama 1/2 jam (Aziz dkk, 2009). Hasil pemanggangan dilarutkan dalam larutan sodium karbonat encer (2 % berat Na_2CO_3) pada suhu kamar dengan pengadukan selama 2 jam, diperoleh larutan sodium aluminat ($Na_2O \cdot Al_2O_3$). Larutan dipisahkan dari residunya melalui penyaringan vakum. Residu

dicuci 2 kali dengan akuades. Filtrat dan residu dianalisis kimia dengan AAS untuk mengetahui komposisinya. Hasil analisis kimia daripada residu, filtrat dan filtrat hasil pencucian digunakan untuk menghitung perolehan alumina. Proses sinter soda-kapur dan pelarutan mengikuti hasil yang telah diperoleh sebelumnya. Larutan sodium aluminat diendapkan melalui penetralan dengan gas CO_2 menghasilkan endapan aluminium hidroksida ($Al(OH)_3$). Endapan alumina hidrat disintesis dengan silikat hidrat setelah melalui proses pembentukan garam aluminium dan asam silikat dalam variasi perbandingan berat Al_2O_3/SiO_2 90:10, 85:15, dan 80:20 berdasarkan diagram keseimbangan $Al_2O_3-SiO_2$. Produk sintesis disaring dan dikeringkan pada suhu 100 °C. Selanjutnya produk dikarakterisasi ketahanannya terhadap suhu melalui uji PCE, dan teksturnya melalui uji SEM. Bagan alir pengerjaan pemrosesan bijih bauksit dan residu bauksit untuk refraktori selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 2.

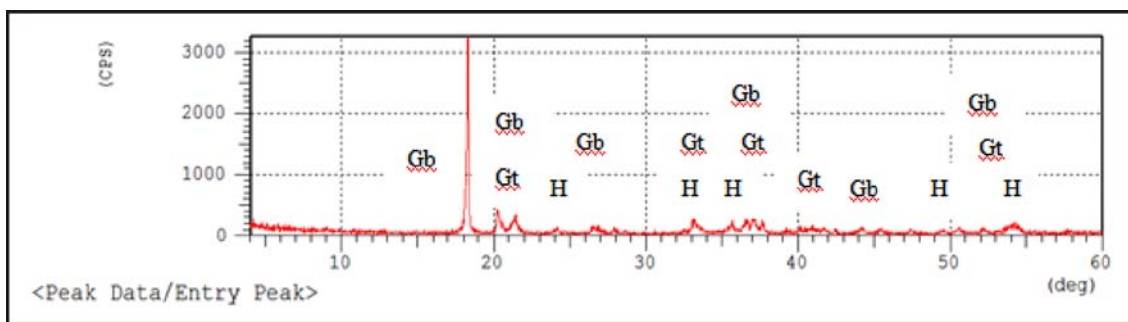


Gambar 2. Bagan alir ekstraksi alumina dari bijih bauksit dan residu bauksit serta pembuatan bahan refraktori alumina dari residu bauksit (percobaan yang dilakukan sesuai dengan bagan alir dalam garis kotak)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mineralogi residu bauksit

Hasil difraksi sinar-X (XRD) residu bauksit ditunjukkan pada Gambar 3, yaitu mineral-mineral utama terdiri dari hematit, gibbsit, dan goethit. Nampak puncak difraksi yang umumnya tidak terlalu tajam, hal ini disebabkan karena permukaan kristal-kristal dari mineral-mineral yang terkandung dalam residu bauksit sudah mengalami degradasi akibat aksi pelarutan oleh soda kostik panas disertai tekanan. Namun jenis mineral utamanya masih terdeteksi.



Gambar 3. Mineralogi residu bauksit, masih mengandung 3 mineral utama, yaitu hematit (H), gibbsit (Gb), dan goethit (Gt)

Alumina terekstraksi dan unsur-unsur terlarut di dalamnya

Proses sinter soda-kapur serta pelarutan sinter dilakukan sebanyak 5 kali untuk memperoleh percontoh alumina yang cukup untuk bahan refraktori. Alumina terekstraksi melalui proses sinter soda-kapur dan pelarutan rata-rata sebanyak 85,20 %. Sisanya berupa residu akhir mengandung besi oksida yang berwarna merah. Larutan sodium aluminat dipisahkan dari residunya dengan penyaringan, diperoleh larutan seperti air teh (berwarna coklat tua). Kandungan unsur-unsur utama larutan sodium aluminat ditunjukkan pada Tabel 2.

Komposisi kimia

Komposisi kimia bauksit tercuci (*washed bauxite*) Kalimantan Barat dan residunya ditunjukkan pada Tabel 1. Residu bauksit yang dihasilkan dari ekstraksi alumina dari bijih bauksit dengan proses Bayer masih mengandung alumina sekitar 20 % dan besi sekitar 37 % Fe_2O_3 .

Tabel 1. Komposisi kimia bauksit tercuci dan residu bauksit

Komponen	Bauksit tercuci (<i>washed bauxite</i>) (%)	Residu bauksit (<i>Red mud</i>) (%)
SiO ₂	1,56	3,40
Al ₂ O ₃	51,79	20,17
Fe ₂ O ₃	15,76	37,48
MnO	0,06	0,16
MgO	ttd	0,14
CaO	0,02	0,06
Na ₂ O	ttd	3,03
K ₂ O	ttd	ttd
TiO ₂	1,11	3,43
P ₂ O ₅	0,09	0,09
H ₂ O	36,04	31,21

Dalam larutan sodium aluminat masih terdapat unsur-unsur Fe, Si, dan Ca. Unsur Fe dalam larutan sodium aluminat merupakan pengotor kedua setelah Na. Pada suhu *digesting* (145°C) kelarutan Fe sekitar 50 mg/l dan pada suhu presipitasi (62-72°C) kelarutannya berkurang menjadi di bawah 2 mg/l (Burkin, 1997). Dalam reaksi pensinteran silikat bersenyawa dengan sodium karbonat membentuk

Tabel 2. Konsentrasi rata-rata unsur-unsur utama terlarut dalam larutan sodium aluminat.

Al (10 ³ ppm)	Na (10 ³ ppm)	Si (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)
51,28	33,57	0,35	1,73	1,72

senyawa sodium silikat (Na₂SiO₃) yang larut (reaksi 2). Penambahan CaO dalam pensinteran akan mengikat silikat membentuk senyawa dikalsium silikat (Ca₂SiO₄) yang tidak larut (reaksi 3). Namun dalam proses sinter soda-kapur juga dapat terjadi kalsium menggantikan sodium sehingga terbentuk

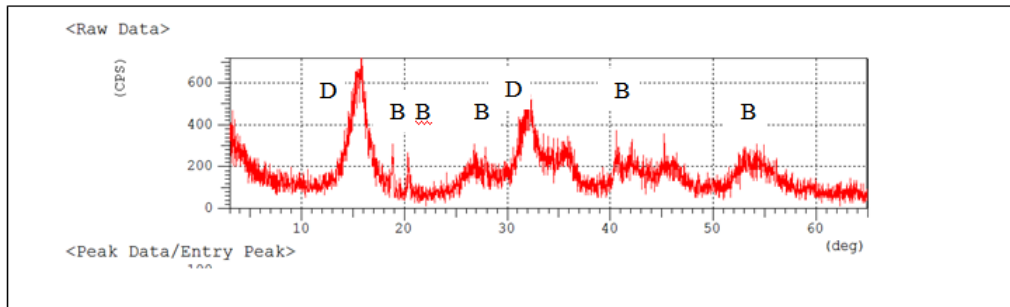
senyawa kalsium aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) yang larut (Habashi, 1997). Fenomena ini yang menyebabkan adanya unsur-unsur Si dan Ca dalam larutan sodium aluminat.

Endapan alumina hidrat

Pengendapan larutan sodium aluminat dengan gas CO_2 menghasilkan endapan alumina hidrat. Hasil XRD alumina hidrat ditunjukkan pada Gambar 4, terutama terdiri dari kristal-kristal Bayerit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) dan sedikit kristal Dawsonit ($\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$).

Silikat hidrat

Silikat hidrat ($\text{SiO}_2\cdot x\text{H}_2\text{O}$) disiapkan dari larutan sodium silikat melalui hidrolisis dan pengendapan silikat hidrat dengan HCl. Silikat hidrat sebagai sumber silikat untuk pembentukan senyawa aluminosilikat dengan alumina melalui sintesis garam alumunium dan asam silikat. Hasil XRD silikat hidrat menunjukkan amorf, komposisi kimianya ditunjukkan pada Tabel 4. Kandungan Na_2O sudah di bawah 1 % yaitu 0,37-0,38 %, jadi tidak memerlukan penetralan dengan asam lebih lanjut.



Gambar 4. XRD Alumina hidrat hasil presipitasi dengan gas CO_2 :B (Bayerit), D (Dawsonit).

Keterdapatan kristal Dawsonit disebabkan karena penetapan pH 7 sebagai pH akhir penetralan dengan gas CO_2 terlalu rendah. Kondisi larutan hendaknya diusahakan tetap dalam suasana basa, yakni pH akhir antara 7-8. Komposisi kimia alumina hidrat ditunjukkan pada Tabel 3, nampak alumina hidrat masih mengandung Na_2O sekitar 2,6 % setelah mengalami 3 kali pencucian (pembilasan), yaitu 2 kali dengan akuades dan satu kali dengan asam klorida encer.

Endapan alumina hidrat kualitas metalurgi (*Metalurgical Grade Alumina-MGA*) umumnya mengandung Na_2O sampai 0,46 % (Burkin, 1997). Nampaknya kandungan Na_2O untuk mempersiapkan bahan refraktori selanjutnya masih memungkinkan bisa diturunkan sampai di bawah 1 %.

Tabel 3. Komposisi kimia rata-rata alumina hidrat ($\text{Al}(\text{OH})_3$) hasil pengendapan dan pencucian

Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Na_2O (%)	TiO_2 (%)	Fe_2O_3 ppm
5,98	0,084	2,57	0,044	14

Tabel 4. Komposisi kimia rata-rata silikat hidrat hasil presipitasi larutan sodium silikat

SiO_2 (%)	Na_2O (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 ppm	Cl^- (%)
5,78	0,37	tt	tt	tt	0,34

Keterangan : tt = tidak terdeteksi

Sintesis garam alumina dan asam silikat

Alumina hidrat dan silikat hidrat masing-masing direaksikan dengan asam dalam bejana berpengaduk untuk mendapatkan garam alumunium dan asam silikat (*silicic acid*). Kedua produk disintesis dalam bejana gelas berpengaduk pada perbandingan berat $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ yang divariasikan untuk menghasilkan bahan refraktori alumina (aluminosilikat). Perbandingan berat $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ditunjukkan pada Tabel 5.

Berdasarkan hasil percobaan dari bahan awal residu bauksit hingga menghasilkan refraktori alumina, dapat diketahui bahwa dari satu ton residu bauksit dapat dihasilkan bahan refraktori alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 90:10) sebanyak : $20,17\% \times 1000 \text{ kg} \times 85,20$

$\% \times 100/90 \text{ kg} = 190,94 \text{ kg}$ atau untuk menghasilkan 1 ton bahan refraktori alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 90:10) diperlukan residu bauksit sebanyak 5,26 ton.

perbandingan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$: 80/20 ditunjukkan pada Gambar 7, nampak hanya terdapat jenis kristal mulit berbentuk butiran, tidak ditemukan

Tabel 5. Perbandingan berat Al_2O_3 dan SiO_2 dalam sintesis pembentukan bahan refraktori alumina

Kode sampel	Perbandingan berat (%)		Waktu reaksi (menit)	Suhu Pengeringan
	Al_2O_3	SiO_2		
PL 1	90	10	30	100°C
PL 2	85	15	30	100°C
PL 3	80	20	30	Suhu kamar

Hasil Uji PCE dan SEM bahan refraktori alumina

- Hasil uji PCE
Hasil uji PCE terhadap bahan refraktori yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 6. Dari hasil pengujian nampak bahwa bahan refraktori yang dihasilkan termasuk ke dalam kelas SK-34 yang memiliki ketahanan terhadap suhu setara dengan 1.763°C.

Tabel 6. Hasil uji PCE terhadap bahan refraktori alumina

No.	Tanda Sampel	Jenis Pengujian	Metode Uji	Hasil
1	PL 1	PCE	ASTM C-24	SK-34 (setara dengan suhu 1.763°C)
2	PL 2	PCE	ASTM C-24	SK-34
3	PL 3	PCE	ASTM C-24	SK-34

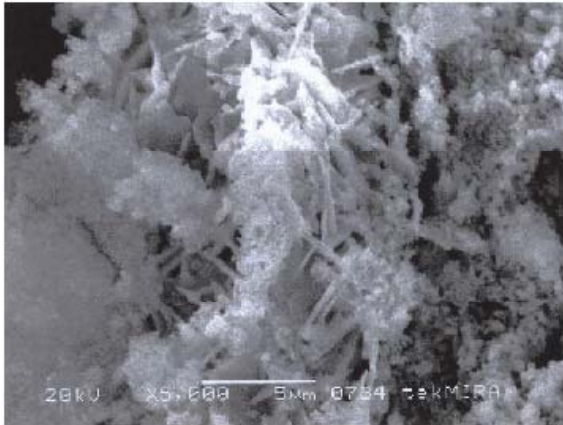
- Hasil Uji SEM
Bahan refraktori aluminosilikat hasil sintesis dengan variasi komposisi (perbandingan berat $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$: 90/10, 85/15, dan 80/20) dikeringkan pada suhu kamar dan suhu 100°C. SEM dari produk hasil uji PCE dengan perbandingan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$: 90/10 ditunjukkan pada Gambar 5, nampak terbentuknya kristal-kristal mulit memanjang yang menajam di kedua ujungnya seperti jarum (*needle-like mullite*). Pada perbandingan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$: 85/15 hasil SEM ditunjukkan pada Gambar 6, nampak 2 jenis kristal mulit, yaitu seperti jarum dan butiran (*granule mullite*). Hasil SEM pada

jenis kristal jarum. Masih perlu dikaji lebih lanjut mengapa hanya terlihat kristal mulit bentuk granul. Namun semua produk pembakaran bahan refraktori telah menunjukkan terbentuknya fasa mulit, baik bertekstur seperti jarum maupun butiran, hal ini menunjukkan pembuatan bahan refraktori yang berbasis alumina dari residu bauksit telah berhasil karena dapat terbentuk fasa mulit yang memiliki ketahanan terhadap suhu sampai 1840°C, sebagaimana ditunjukkan pada diagram kesetimbangan $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (Gambar 1). Hasil SEM tidak menunjukkan adanya fasa corundum (*pure Al₂O₃*) karena fasa tersebut muncul hanya pada kandungan Al_2O_3 100 % (Charles, 2004). Kandungan Al_2O_3 bahan refraktori yang diuji berkisar dari 80 sampai 90 %. Fasa corundum mempunyai titik leleh yang tinggi yaitu 2050°C. Schneider dan Komameni (2005) telah

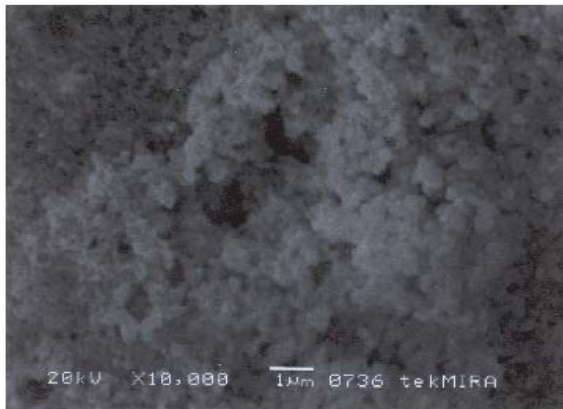


Gambar 5. Tekstur kristal-kristal mulit memanjang menyerupai jarum (*needle-like mullite*) pada komposisi $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 90 : 10$

mulit di atas suhu 1200°C bergantung pada pH dari bahan yang di sinter, kristal-kristal mulit memanjang seperti jarum dihasilkan pada kondisi asam, sedangkan kristal-kristal mulit seperti batang (*rod-like mullite*) atau seperti butiran didapatkan pada pH di atas 8. Penelitian ini belum memfokuskan pada ketepatan pH dari bahan refraktori yang diuji.



Gambar 6. Tekstur kristal-kristal mulit memanjang menyerupai jarum (*needle-like mullite*) dan butiran (*granule mullite*) pada komposisi $Al_2O_3/SiO_2 = 85 : 15$



Gambar 7. Tekstur kristal-kristal mulit berbentuk butiran (*granule mullite*) pada komposisi $Al_2O_3/SiO_2 = 80 : 20$

KESIMPULAN

- Hasil sintesis garam alumina hidrat dari residu bauksit dengan senyawa asam silikat dapat menghasilkan bahan refraktori alumina yang

termasuk kelas SK-34 berdasarkan hasil uji PCE, yang mempunyai ketahanan terhadap suhu setara dengan 1.763°C.

- Hasil SEM terhadap benda uji PCE menunjukkan tekstur fasa mulit berupa kristal-kristal memanjang berujung tajam seperti jarum (*needle-like mullite*) dan kristal-kristal berbentuk butiran (*granule mullite*).
- Untuk menghasilkan 1 ton bahan refraktori alumina ($Al_2O_3/SiO_2 = 90 : 10$) diperlukan residu bauksit sebanyak 5,26 ton.

DAFTAR PUSTAKA

- Alp A. dan Aydin A.O., 2002. The investigation of efficient conditions for alumina production from diasporic bauxites, *Canadian Metallurgical Quarterly*, Vol 41, No.1, halaman 41-46.
- Anonim, 1984. Pengkajian bauksit, alumina, aluminium, DPE, DJPU, PPTM, Bandung.
- Ardha, Ngurah and Aziz, M., 2007. Study of utilizing fly ash for castables refractory, *Indonesian Mining Journal*, Vol.10, No.07, February, pp. 10-22
- Aziz, M., Mutaalim, Amalia, D. dan Wahyudi, A., 2009. Pemrosesan *red mud* – Limbah ekstraksi alumina dari bijih bauksit Bintan untuk memperoleh alumina dan soda, Puslitbang tekMIRA.
- Aziz, M., dan Ardha, Ngurah, 2006. Karakterisasi abu terbang PLTU-Suralaya dan evaluasinya untuk refraktori cor, *Jurnal tekMIRA*, No.36, th 14, Jan, halaman 1
- Burkin, A.R., 1997. *Production of aluminium and alumina*, Imperial College London, John Wiley & Sons
- Charles, 2004. *Refractories Handbook*, Marcel Dekker, Inc., 270 Madison Avenue, New York, USA.
- Gilchrist, J.D., 2007. *Fuel, furnaces and refractories*, Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford, England.
- Habashi, 1997. *Handbook of extractive metallurgy*, vol. II, Wiley-VCH.
- Padilla R. dan Sohn H.Y., 1985 (a); Sintering kinetics and alumina yield in lime-soda sinter process for alumina from coal wastes, *Metallurgical Transactions B*, Vol 16, June, halaman 385.
- Padilla R. dan Sohn H.Y., 1985 (b); Sodium aluminate leaching and desilication in lime-soda sinter process

for alumina from coal wastes, *Metallurgical Transactions B*, Vol 16, December, halaman 707.

Sharif, 2005; Towards zero wastes, Sharif.Jahanshahi@csiro.au, CSIRO Mineral.

Pontikes, 2006. Environmental aspects on the use of Bayer's Process bauxite residue in the production of ceramics, CIMTEC, Sicily

Schneider dan Komameni, 2005; Mullite, <http://www.google.co.id>, books google.