

PERCOBAAN PENDAHULUAN PEMBUATAN ALUMINA KUALITAS METALURGI DARI BAUKSIT KALIMANTAN BARAT

Preliminary Research on Preparation of Metallurgical Grade Alumina Using Bauxite of West Kalimantan

DESSY AMALIA dan MUCHTAR AZIZ

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

SARI

Aluminium adalah logam ringan yang memiliki banyak kelebihan dan sangat diperlukan dalam berbagai industri. Untuk memperoleh logam aluminium diperlukan alumina yang memiliki spesifikasi metalurgi, yang dihasilkan melalui proses *digesting* (Bayer process) terhadap bahan baku bauksit. Bauksit yang digunakan berasal dari Kalimantan Barat yang memiliki kadar Al_2O_3 50,9%; SiO_2 1,17% dan Fe_2O_3 15,21%. Proses Bayer menghasilkan larutan sodium aluminat dan residu bauksit (*red mud*). Penambahan *Whitton* dapat membantu proses Bayer sehingga menghasilkan larutan sodium aluminat dengan kadar SiO_2 lebih rendah dibanding tanpa penggunaan *Whitton*. Larutan sodium aluminat dipresipitasi membentuk presipitat aluminium hidroksida kemudian dikalsinasi dengan variasi temperatur 1000; 1100; 1200°C untuk menghasilkan alumina. Alumina yang dihasilkan memiliki spesifikasi 96,8% Al_2O_3 ; 0,10% SiO_2 ; 0,052% Fe_2O_3 ; 1,05% Na_2O ; dan 0,23% CaO belum memenuhi spesifikasi kualitas metalurgi. Perlu perbaikan proses terutama saat *digesting* serta pengurangan jumlah Na_2O pada larutan sodium aluminat.

Kata kunci : bauksit, *digesting*, alumina, kualitas metalurgi.

ABSTRACT

Aluminum is known as light metal with many advantages that are required in many applications of industries. Production of metallic aluminum requires metallurgical grade alumina that is resulted from bauxite digester (Bayer process). The bauxite ore derived from West Kalimantan contains Al_2O_3 50.9%, SiO_2 1.17% and Fe_2O_3 15.21%. Bayer process generates sodium aluminate solution and bauxite residue (*red mud*). The addition of *Whitton* assists Bayer process to yield lower SiO_2 in sodium aluminate solution. Sodium aluminate solution was precipitated to form hydroxide aluminum then was calcined in various temperatures of 1000; 1100; 1200°C in order to produce alumina. Produced alumina has chemical composition of Al_2O_3 96.8%, SiO_2 0.10%, Fe_2O_3 0.052%, Na_2O 1.05% and CaO 0.23%, however, it has not fulfill yet the metallurgical grade specification as $SiO_2 < 0.03\%$, $Fe_2O_3 < 0.03\%$, $Na_2O < 0.65\%$ and $CaO < 0.6\%$. Therefore, some improvements of Bayer process and sodium oxide reduction in sodium aluminate solution would be concerned.

Keywords : bauxite, *digesting*, alumina, metallurgical grade

PENDAHULUAN

Aluminium adalah logam yang lunak dalam bentuk murni namun keras seperti baja jika padat, ringan, tahan terhadap korosi dan merupakan konduktor listrik yang baik. Keunggulan tersebut membuat aluminium sangat diperlukan sebagai bahan baku dalam beberapa industri seperti komponen otomotif, bahan konstruksi, peralatan rumah tangga dan sebagainya. Jumlah kebutuhan aluminium dalam negeri pada 2009 sekitar 535.093 ton sedangkan produksi dalam negeri hanya 375 ribu ton, sehingga ada kekurangan sekitar 29,92% (Badan Standarisasi Nasional, 2011).

Pemenuhan kebutuhan aluminium dari dalam negeri sampai saat ini hanya berasal dari PT. Inalum. Bahan baku yang dibuat untuk dilebur menjadi aluminium yaitu alumina diperoleh melalui impor dari Australia. Alumina diproduksi melalui proses Bayer dari bijih bauksit. Indonesia memiliki deposit bauksit cukup banyak di Kalimantan Barat yang selama ini hanya diekspor dalam bentuk bijih wantah.

Rencana pemberlakuan UU no. 4 tahun 2009 mendorong industri dalam negeri untuk mendirikan pabrik pengolahan dan pemurnian mineral, salah satunya bauksit. Bauksit perlu diolah agar memenuhi spesifikasi bahan baku alumina. Pengolahan bauksit bertujuan untuk meningkatkan kadar $Al_2O_3 > 52\%$ dan $SiO_2 < 2\%$ sehingga ekonomis jika diusahakan dalam pembuatan alumina.

Alumina hingga saat ini diperoleh melalui proses Bayer menggunakan NaOH untuk pelindian bauksit yang ditemukan Karl Josef Bayer pada 1892 (Totten and MacKenzie, 2003). Proses Bayer sering disebut dengan *digestion* yang kondisi operasionalnya tergantung pada komposisi mineral dari bauksit yang digunakan seperti pada Tabel 1. Proses *digestion* dilakukan dengan mereaksikan bauksit dengan larutan NaOH sehingga aluminium hidroksida larut menjadi larutan sodium aluminat. Selama proses tersebut NaOH bereaksi dengan alumina dan silika, sedangkan kalsium, besi dan titanium oksida tidak larut dan menjadi residu berwarna merah yang sering dikenal dengan *red mud* atau residu bauksit

(Cardarelli, 2008). Aluminium hidroksida diperoleh dengan melakukan presipitasi terhadap larutan sodium aluminat.

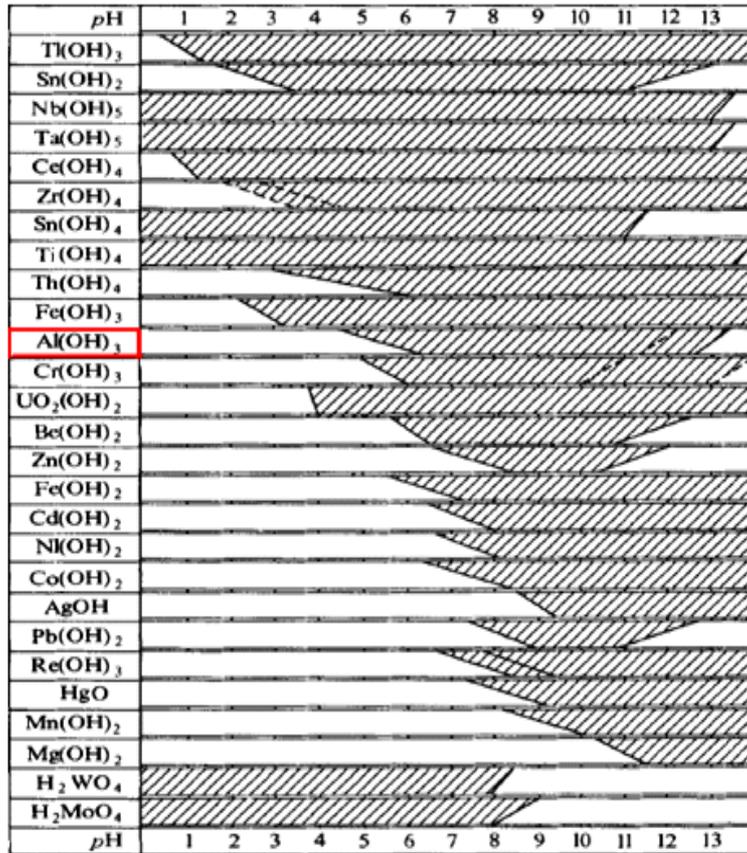
Proses presipitasi dapat dilakukan dengan menetralkan larutan sodium aluminat yang semula memiliki pH 13 diturunkan derajat keasaman (pH) larutan menjadi 8 dengan asam klorida berdasarkan diagram kelarutan hidroksida (Aziz, 2009) pada Gambar 1. Bagian putih pada diagram menunjukkan hidroksida berada dalam larutan sedangkan bagian yang diarsir, dalam bentuk endapan. Selain dengan penambahan asam, sodium aluminat yang diperoleh dipanaskan perlahan untuk menghilangkan silika terlarut ($Na_2Si(OH)_6$). Kemudian didinginkan perlahan dan diasamkan dengan karbondioksida membentuk larutan asam karbonik lemah dan menetralkan larutan yang secara selektif mengendapkan aluminium hidroksida ($Al(OH)_3$) (Cardarelli, 2008). Selain pengaturan pH, proses presipitasi juga dapat dilakukan dengan menambahkan *seed* berupa aluminium hidroksida yang dihasilkan sebelumnya hingga 400% berat untuk menumbuhkan kristal-kristal aluminium hidroksida (Schmitz, 2006).

Aluminium hidroksida yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu 1100 sampai 1300°C untuk menghasilkan alumina. Kalsinasi dilakukan menggunakan *rotary kiln* untuk *non-metallurgical grade*. Kalsinasi sistem *fluidized bed* kemungkinan dapat digunakan untuk *metallurgical grade*. Kedua macam alumina tersebut harus memiliki kandungan natrium yang rendah. Cara untuk mengurangi natrium misalnya dengan pelindian menggunakan air atau menambahkan silika untuk membentuk sodium silikat yang terlarut. Perubahan gipsit menjadi alfa-alumina saat kenaikan temperatur pada proses kalsinasi memiliki fenomena sebagai berikut :

- melepaskan uap air pada suhu 250°C dan 400°C dengan membuat alumina terfluidisasi;
- perubahan eksotermis menjadi alfa-alumina terjadi pada rentang suhu antara 1000°C sampai 1250°C serta membutuhkan waktu sedikitnya 1 jam (Cardarelli, 2008).

Tabel 1. Reaksi dan kondisi proses *digestion* mineral bauksit

Mineral Bauksit	Reaksi	Kondisi
Gibbsite	$2 AlO(OH).H_2O + 2 NaOH \rightarrow 2 NaAlO_2 + 4 H_2O$	P atmosferik, $135^\circ C < T < 150^\circ C$
Boehmite	$2 AlO(OH) + 2 NaOH \rightarrow 2 NaAlO_2 + 2 H_2O$	P atmosferik, $205^\circ C < T < 245^\circ C$
Diaspore	$2 AlO(OH) + 2 NaOH \rightarrow 2 NaAlO_2 + 2 H_2O$	P (3,5 – 4 MPa), $T > 250^\circ C$



Gambar 1. Diagram kelarutan hidroksida berdasarkan pH (Vogel, 1979)

Alumina hasil kalsinasi memiliki struktur lebih kasar dan rapuh serta berukuran sekitar 5 – 10 mm (Cardarelli, 2008). Alumina yang digunakan oleh PT Inalum berjenis *metallurgical grade* dengan spesifikasi tertera pada Tabel 2.

Saat ini, bauksit yang ada di Indonesia memiliki kadar rendah, karena jumlah silika reaktif cukup tinggi (4 – 15%) (sehingga untuk meningkatkan kadarnya hingga minimal 2% cukup sulit. Selain dengan menggunakan proses *upgrading*, silika reaktif

dapat dikurangi jumlahnya sebelum atau saat *digesting* bahkan setelah *digesting*.

Proses Desilikasi

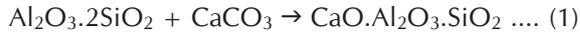
Menurut Jiayu dkk., 2011 bahwa proses Bayer memerlukan proses desilikasi menggunakan kapur (Cao atau Ca(OH)_2). Alternatif kondisi proses dilakukan dengan menambahkan *whitton* (mengandung komponen CaCO_3) ke dalam bejana bertekanan bersama bauksit dan larutan NaOH.

Tabel 2. Spesifikasi alumina *metallurgical grade* yang digunakan PT. Inalum

Parameter Kimia	Kadar (%)	Parameter Fisik	Nilai
Fe_2O_3	< 0,03	<i>B.E.T surface area</i>	25 m^2/g
SiO_2	< 0,03	<i>Bulk density</i>	0,95 – 1,05 kg/dm^3
TiO_2	< 0,006	<i>Fine particle size (-44 mesh)</i>	< 15 %
P_2O	< 0,001	<i>Coarse particle size (+ 150 mesh)</i>	< 3 %
Na_2O	< 0,65		
CaO	< 0,6		
LOI	< 1,0		

Sumber : Sinaga, 2011

Kandungan CaCO_3 dalam *whitton* dapat mengikat silika reaktif dalam bentuk kaolinit dengan reaksi :



Pada reaksi (1) di atas, silika reaktif tidak akan mengkonsumsi NaOH sehingga Al yang terekstrak diharapkan menjadi lebih banyak.

METODOLOGI

Alumina diperoleh melalui beberapa tahapan proses, yaitu *digesting* (proses Bayer), kemudian presipitasi untuk memperoleh aluminium hidroksida serta kalsinasi. Sebelum proses berlangsung, bauksit hasil proses *upgrading* dikarakterisasi komposisi kimia dan mineralnya. *Digesting* dilakukan dengan mencampur bauksit dengan NaOH konsentrasi 129 g/L (perbandingan berat 3 : 2) melalui penambahan air yang berlangsung pada 140°C selama 2 jam. Proses desilikasi dilakukan untuk mengurangi jumlah SiO_2 reaktif yang terlarut menggunakan *whitton* teknis yang mengandung CaCO_3 dengan perbandingan berat 3 : 1 terhadap jumlah SiO_2 reaktif. Proses *digesting* dilakukan dengan menggunakan bejana

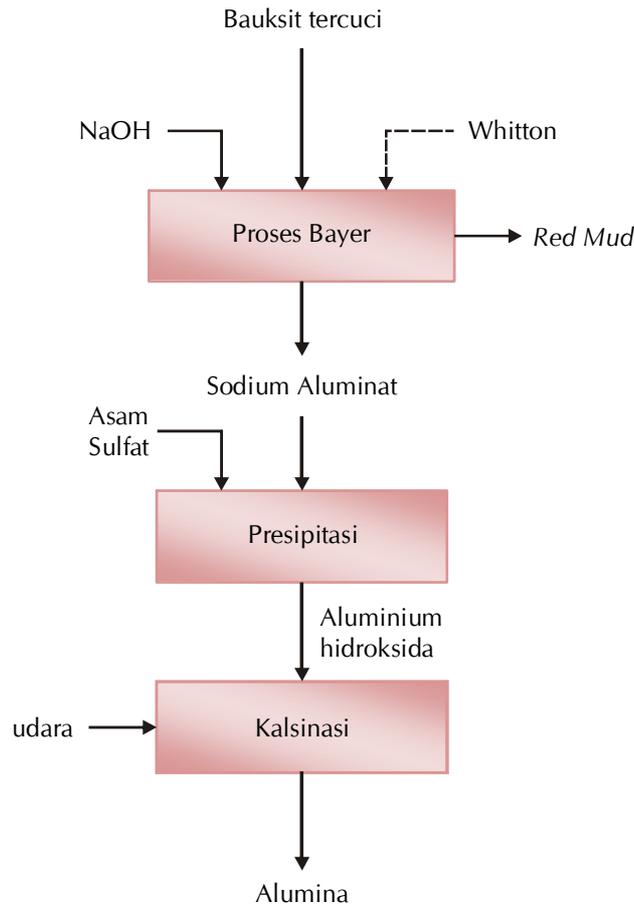
bertekanan seperti pada Gambar 2 yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Kapasitas : 7 liter luluhan setiap percobaan;
- Suhu maks. : 150°C ;
- Tekanan maks. : 5 atm;
- Putaran pengaduk : 20 rpm;
- Pemanas : elemen listrik;
- Material konstruksi : baja.
- Perlengkapan : pengatur suhu, *thermo-couple*, *pressure gauge*, *safety valve*.

Proses tersebut menghasilkan larutan sodium aluminat dan padatan berwarna merah yang disebut *red mud* (residu bauksit). Larutan sodium aluminat yang dihasilkan dinetralkan pH nya dengan asam sulfat pekat sehingga membentuk endapan putih yang diharapkan adalah aluminium hidroksida. Kemudian endapan tersebut disaring dan dicuci dengan air suling untuk membersihkan Na (sodium) yang menempel pada padatan. Kemudian padatan tersebut dikalsinasi dengan variasi suhu $1000; 1100; 1200^\circ\text{C}$ dengan injeksi udara. Diagram alir proses pembuatan alumina dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Bejana bertekanan untuk proses Bayer



Keterangan : - - - - alternatif tambahan bahan

Gambar 3. Diagram alir pembuatan alumina

HASIL DAN PEMBAHASAN

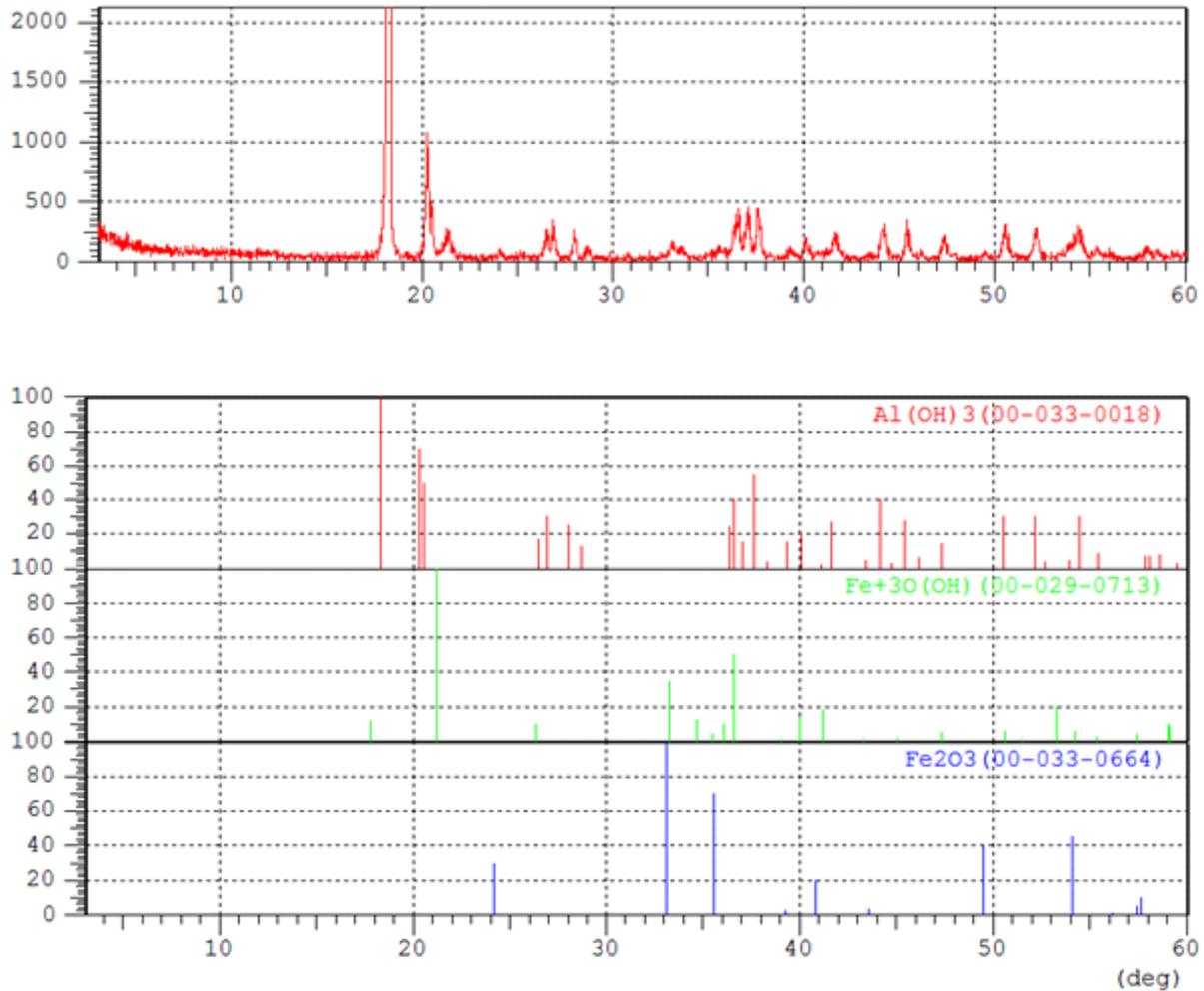
Bauksit hasil pencucian yang telah tersedia dengan ukuran -60 mesh dikarakterisasi secara kimia dan fisika (XRD). Komposisi kimia bauksit yang digunakan dalam percobaan tertera pada Tabel 3. Bauksit tersebut terdiri dari mineral gipsit, *goethite* dan hematit berurutan berdasarkan hasil analisis difraksi sinar-X yang terlihat pada Gambar 4. Komposisi kimia menunjukkan bahwa bauksit tersebut memiliki kadar Al_2O_3 yang belum memadai sebagai bahan baku proses Bayer yang seharusnya mengandung Al_2O_3 minimal 52% namun SiO_2 yang terkandung telah memenuhi syarat yaitu $< 3\%$. Menimbang bahwa SiO_2 cukup sulit penanganannya saat proses Bayer, maka bauksit tercuci tersebut dianggap cukup baik dilihat dari jumlah pengotor yang terkandung dan dapat digunakan sebagai bahan baku proses Bayer.

Selanjutnya bauksit tercuci dijadikan umpan dalam proses Bayer untuk mengekstrak aluminium terlarut dalam bentuk hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Dalam proses Bayer, bauksit direaksikan dengan larutan NaOH dalam bejana bertekanan. Kondisi operasi proses Bayer yang dilakukan yaitu, konsentrasi NaOH 129 g/L pada suhu 140°C selama 2 jam.

Hasil dari proses Bayer terdiri atas filtrat berupa larutan sodium aluminat dan padatan yang berwarna merah yang dikenal dengan *red mud* (bauksit residu). Larutan sodium aluminat yang dihasilkan dikarakterisasi untuk mengetahui hasil ekstraksi berupa komposisi oksida dalam filtrat yang tampak pada Tabel 4. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan *Whitton* mengurangi jumlah SiO_2 , Fe_2O_3 dan CaO dalam larutan lebih signifikan dibanding tanpa penambahan *Whitton*, berarti *Whitton* yang dipakai dapat menjadi bahan desilikasi dan dapat meningkatkan persen ekstraksi Al_2O_3 .

Tabel 3. Komposisi oksida bauksit

Oksida	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	LOI
%	50,9	1,17	15,21	0,098	0,022	1,47	28,6



Gambar 4. Kandungan mineral bauksit hasil difraksi sinar-X

Tabel 4. Larutan sodium aluminat hasil proses Bayer dengan dan tanpa penambahan whitton

Oksida (mg/L)	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	% Ekstraksi Al ₂ O ₃
Non whitton	58292	166	16,9	2,5	0,65	1,25	90677	49,56
Whitton	88778	10	6,28	1,036	-	tt	99739	75,48

Larutan sodium aluminat yang dihasilkan dengan bantuan Whitton dilanjutkan ke proses berikutnya, yaitu presipitasi. Presipitat yang terbentuk berwarna putih seperti tampak pada Gambar 5 dan memiliki komposisi kimia seperti pada Tabel 5 yang merupakan

mineral Bayerit/Aluminium Hydroxide (Al(OH)₃) dari hasil analisis difraksi sinar-X (Gambar 6), dan memiliki *specific gravity* 2,42. Proses presipitasi aluminium hidroksida dapat dilihat pada Gambar 7.



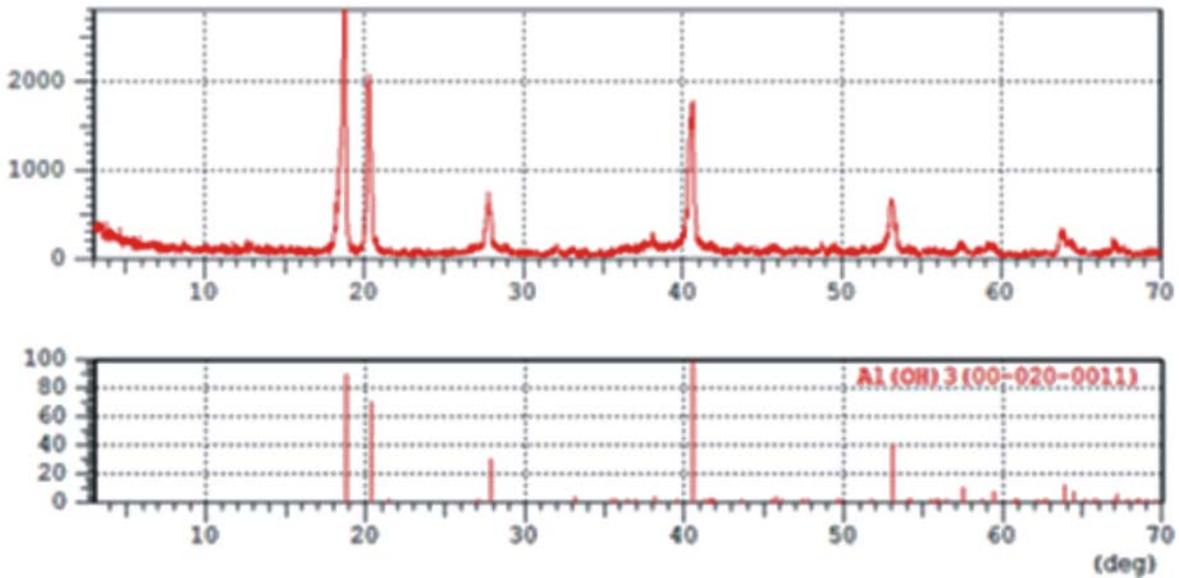
Gambar 5. Presipitat aluminium hidroksida dalam larutan sodium aluminat

Tabel 5. Komposisi oksida aluminium hidroksida

Oksida	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O
%	56,3	0,05	0,026	3,30

3, jadi presipitasi yang baik hendaknya dilakukan hingga pH 7 saja. Silika (Si) yang mengendap merupakan silika reaktif yang tidak ikut bereaksi dengan Ca pada *whitton* yang ditambahkan, sehingga saat proses Bayer perlu penambahan *Whitton* sesuai jumlah Si yang terdapat dalam bauksit (lihat percobaan).

Aluminium hidroksida yang dihasilkan kemudian di kalsinasi dengan variasi temperatur selama 2 jam. Hasil kalsinasi berupa bubuk berwarna putih dibanding sebelum kalsinasi (Gambar 5) dan mengalami pengurangan berat. Data pengurangan berat dan hasil karakterisasi fisika dapat dilihat pada Tabel 6 yang menunjukkan bahwa jumlah matrik hilang bakar (LOI) pada aluminium hidroksida sekitar 37%. Hal ini dapat dilihat pada data pengurangan berat 1200°C (Tabel 6) adalah 1,22 gram dari 3,3 gram aluminium hidroksida yang dikalsinasi. Sisa dari kandungan aluminium hidroksida selain LOI adalah oksida-oksida pengotor lain seperti CaO yang dapat dilihat dari komposisi kimia yang tampak pada Tabel 7.



Gambar 6. Hasil analisis sinar-X presipitat

Aluminium hidroksida yang diperoleh masih mengandung Na cukup besar sehingga perlu dicuci dengan air hangat agar Na berlebih pada permukaan endapan menjadi berkurang. Sedangkan Fe yang terdapat dalam aluminium hidroksida kemungkinan ikut terendapkan saat presipitasi, karena sesuai Gambar 1 Fe(OH)₃ akan mengendap pada pH hingga

Semakin tinggi temperatur kalsinasi, semakin besar kadar Al₂O₃ yang diperoleh (Tabel 7) berarti pada 1200°C aluminium hidroksida telah mengalami dekomposisi paling sempurna dibanding temperatur lebih rendah dan fraksi yang mudah menguap dapat dihilangkan. Tujuan dari kalsinasi adalah dekomposisi, transisi fase atau penghilangan fraksi



Gambar 7. Alumina hasil kalsinasi (kiri) dan hasil presipitasi (kanan)

akan membentuk kerak di atas cell yang mudah dipecah (ØstbØ, P.N, 2002).

Secara kimia, alumina yang dihasilkan belum memenuhi spesifikasi *metallurgical grade* karena jumlah pengotor masih melebihi dari persyaratan alumina kualitas metalurgi (Tabel 2). Hal ini disebabkan jumlah NaOH yang digunakan pada proses Bayer sangat berlebih terutama jika sudah ditambahkan bahan desilikasi seperti *whitton* maka jumlah NaOH yang diperlukan seharusnya lebih sedikit. Selain itu, penambahan asam dalam proses presipitasi harus dikendalikan hingga pH 8 menggunakan asam klorida (Aziz, 2009). Penambahan asam pada presipitasi juga dapat menyebabkan jumlah persen ekstraksi Al_2O_3 yang

Tabel 6. Hasil karakterisasi fisika (XRD) produk kalsinasi variasi temperatur

Suhu (°C)	Kandungan mineral	Specific Gravity	Pengurangan berat (g)
1000	Corundum (Aluminium Oxide)	3,24	2,30
1100	Corundum (Aluminium Oxide)	3,39	4,37
1200	Corundum (Aluminium Oxide)	-	1,22

Tabel 7. Komposisi kimia hasil kalsinasi variasi temperatur

Suhu (°C)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Na_2O (%)	CaO (%)	% Ekstraksi Al_2O_3
1000	83,1	0,10	0,10	5,39	-	46,78
1100	84,2	0,22	0,051	6,81	1,69	47,40
1200	96,8	0,10	0,052	1,05	0,23	54,49

mudah menguap, melalui perlakuan panas terhadap bahan galian atau material padat di bawah titik lebur produk (Pudjaatmaka, 2002) yang akan dihasilkan dalam hal ini alumina yang memiliki titik lebur 2072°C.

Dalam kegiatan ini, kalsinasi yang dilakukan adalah untuk mendekomposisi mineral hidrat menjadi oksida serta menghilangkan air kristal sebagai uap air. Selain itu, kalsinasi pada aluminium hidroksida menjadi alumina juga membantu dalam transisi fase karena alumina terdiri dari beberapa fasa, yaitu γ -, δ -, η -, θ -, and α -alumina. Setiap fase memiliki struktur kristal dan sifat yang unik. Alumina *metallurgical grade* yang diharapkan memiliki fasa α yang diidentifikasi sebagai mineral *corundum* (Tabel 6) karena lebih stabil dan saat aplikasi pada Hall Heroult cell tidak akan menyebabkan korosi serta

dihasilkan kecil (Tabel 7) karena ada kemungkinan pengotor yang masih ada dalam larutan sodium aluminat ikut terendapkan. Jadi penambahan asam bekerja tidak selektif walaupun dikendalikan pH nya karena antar unsur terendapkan pada pH yang berhimpit (Gambar 1.) Pencucian hasil presipitasi juga perlu diperhatikan untuk membersihkan sisa-sisa Na dari permukaan. Selain itu, pengujian fisika terhadap alumina yang dihasilkan belum dilakukan karena keterbatasan jumlah produk sehingga spesifikasi fisik belum diketahui.

KESIMPULAN DAN SARAN

Alumina yang diperoleh belum memenuhi spesifikasi yang diperlukan oleh PT. Inalum sehingga masih perlu perbaikan proses terutama dalam

pengurangan pengotor jumlah Na oksida dalam presipitat aluminium hidroksida. Selain itu juga perlu diadakan variasi kondisi proses Bayer untuk memperoleh larutan sodium aluminat yang pengotornya terutama Si dan Fe semakin rendah sehingga meningkatkan persen ekstraksi Al_2O_3 . Proses presipitasi juga perlu dicoba dengan menggunakan seed alumina untuk meningkatkan persen ekstraksi karena selektifitasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Bapak Wahyu yang membantu dalam proses digesting serta (Alm) Bapak Soma Somantri yang ikut andil dalam proses kalsinasi. Tak luput pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, M., Muta'alim, Husaini, Wahyudi, A. dan Sarjono, 2009. *Pengembangan pemanfaatan red mud limbah industri alumina skala bench*. Laporan Internal Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.

Badan Standarisasi Nasional, 2011. Sektor industri aluminium. http://www.bsn.go.id/files/1704711/genapsnibuku/BAB_13.pdf. Diakses pada 24 November 2011 pukul 10.07 WIB.

Cardarelli, F. 2008. *Materials handbook: a concise desktop reference, second edition*. Springer-Verlag-London Limited.

Jiayu Ma, Kunming Zhai, Zhibao Li, 2011. Desilication of synthetic Bayer liquor with calcium sulfate dihydrate: Kinetics and modeling. *Jurnal Hidrometallurgy* vol. 107, issues 1-2 pages 48-55, Elsevier.

Østbø P. N., 2002. Evolution of alpha phase alumina in agglomerates upon addition to cryolitic melts, Disertasi Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Technology and Electrochemistry.

Pudjaatmaka, A. Hadyana, 2002. *Kamus kimia*. Cetakan kedua, Balai Pustaka, Jakarta.

Schmitz, Cristoph, 2006. *Handbook of aluminium recycling*. Vulkan-verlag GmbH, Germany.

Sinaga, D., 2011. Operasi pabrik elektrolisis aluminium permasalahan dan penanganannya di PT Inalum. *Prosiding Seminar Indonesian Process Metallurgy 2011*, Institut Teknologi Bandung.

Totten, G. e, and MacKenzie, D. S., 2003. Alloy production and material manufacturing. *Handbook of Aluminum Volume 2*, Marcel Dekker, Inc, New York.

Vogel. 1979. *Textbook of macro and semimicro qualitative inorganic analysis, Fifth Edition*. Longman Group UK Limited, London.