

PELARUTAN BIJIH BAUKSIT DENGAN SODA KAUSTIK (NaOH) MENJADI LARUTAN SODIUM ALUMINAT (NaAlO₂) SKALA PILOT

Bauxite Dissolution Using Caustic Soda Into Sodium Aluminate Solution at Pilot Scale

HUSAINI, DESSY AMALIA dan YUHELDA

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

ABSTRAK

Sodium aluminat (NaAlO₂) merupakan bahan kimia anorganik penting yang digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan berbagai macam produk kimia antara lain *polialuminum chloride* (PAC), alum, dan zeolit sintetik. Dalam penelitian ini, NaAlO₂ dihasilkan melalui proses Bayer yaitu pelarutan (*digestion*) bauksit asal Tayan, Kalimantan Barat, dengan soda kaustik (NaOH) pada skala pilot berkapasitas 100 kg umpan/*batch* dengan menggunakan *uap* secara kontak langsung pada suhu sekitar 140°C dan tekanan 4 atm. Variabel yang diteliti meliputi : lama reaksi (1; 1,5; 2 jam), ukuran butir -0,177 mm (-80 mesh); -0,149 mm (-100 mesh); -0,0965 mm (-150 mesh), dan NaOH berlebih di atas kebutuhan stoikiometrinya (1,37% sampai dengan 35,25%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi semakin lama, ukuran butir semakin halus, dan NaOH berlebih semakin tinggi sampai batas tertentu, memberikan perolehan alumina (Al₂O₃) yang semakin tinggi. Kondisi proses terbaik yang diperoleh adalah NaOH berlebih 28,83% , lama reaksi 2 jam dan ukuran butir -150 mesh (-0,105 mm) dengan perolehan alumina tertinggi 93,98%.

Kata kunci : *digestion*, bauksit, proses Bayer, NaOH berlebih, sodium aluminat.

ABSTRACT

Sodium aluminate (NaAlO₂) is an important commercial anorganic chemical material that can be used as raw material for various chemical products such as *polialuminum chloride* (PAC), alum, and synthetic zeolite. In this research, NaAlO₂ was synthesized through digestion process using bauxite from Tayan, West Kalimantan at pilot scale with the capacity of 100 kg of bauxite feed/*batch* by NaOH solution using direct contact steam at the temperature of 140°C and pressure of 4 atm. Some variables used for this research were reaction time (1; 1.5; 2 jam), particle size -0,177 mm (-80 mesh); -0,149 mm (-100 mesh); -0.0965 mm (-150 mesh), and NaOH excess (above stoichiometry consumption) from 1.37% to 35.25%. The results of the research show that the increasing of reaction time, the decreasing of particle sizes and the increasing of NaOH excess up to a certain level, providing the yield of alumina increases. The best condition of the digestion processes are NaOH excess of 28.83%, 2 hours for reaction time, -150 mesh (-0,105 mm) of particle size with alumina yield of 93.98%.

Keywords : *digestion*, bauxite, Bayer process, NaOH excess, sodium aluminate.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya bauksit yang cukup besar yaitu sekitar 1.293.838.207 ton dengan cadangan sebesar 582.621.415 ton (Antam, 2014). Sebelum berlakunya Permen No. 1 tahun 2014 tentang pengolahan dan pemurnian mineral untuk mendapatkan nilai tambah, bijih bauksit Indonesia diekspor berupa bahan mentah, namun saat ini pemerintah mewajibkan pemilik IUP, dalam hal ini bijih bauksit, untuk mengolahnya menjadi alumina dan aluminium dengan mendirikan pabrik pemurnian, sehingga memberikan nilai tambah bijih bauksit. Untuk menanggapi peraturan perundang-undangan tersebut, PT. Antam melalui anak perusahaannya (*PT. Indonesia Chemical Alumina*) telah memproduksi *chemical grade alumina* pada kapasitas 300.000 ton per tahun menggunakan teknologi Bayer.

Saat ini produksi alumina dunia sekitar 60 juta ton per tahun yang mengkonsumsi bijih bauksit sekitar 150 juta ton. Untuk pabrik alumina dengan kapasitas 1 juta ton per tahun, laju alir larutan Bayer (*Bayer liquor*) nya berkisar 10.000-15.000 galon per menit (Chen dkk., 2007).

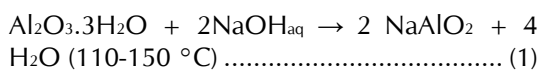
Bauksit merupakan mineral yang tersusun dari oksida aluminium yang ditemui dalam tiga bentuk mineral yaitu buhmit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), diaspor ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), dan mineral gibsit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Secara umum bauksit mengandung 45 – 65% Al_2O_3 , 1 – 12% SiO_2 , 2 – 25% Fe_2O_3 , >3%, TiO_2 , dan 14 – 36% H_2O . Menurut Palmer dkk. (2009), silika, besi dan titanium merupakan mineral pengotor utama dalam bauksit. Silika terdapat dalam bauksit sebagai mineral kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan *halloysite* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Silika dalam bentuk kuarsa tidak larut dengan soda kaustik (NaOH) pada suhu cukup rendah pada proses Bayer, tetapi silika sebagai lempung (silika reaktif) dapat larut dalam larutan NaOH. Kelarutan silika akan meningkat dengan naiknya konsentrasi NaOH dan alumina (Palmer, 2009).

Banyak jenis proses sudah dikembangkan untuk ekstraksi alumina dari bijih bauksit untuk menghasilkan sodium aluminat yaitu dengan pereaksi asam ($\text{pH} < 5$) dan basa ($\text{pH} > 9$) (Tompson, 1995). Pada proses asam

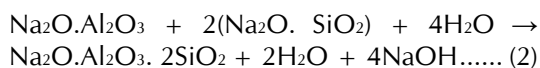
(menggunakan asam sulfat), larutan yang dihasilkan di samping mengandung pengotor besi juga ditemui kendala pada saat proses presipitasi aluminanya karena menghasilkan presipitat berbentuk *gelatin* yang sulit disaring dan dicuci. Sedangkan pada proses basa dimulai oleh Henry Louis Le Chatelier asal Prancis dengan menggunakan pereaksi sodium karbonat (Na_2CO_3) yang dipanaskan pada suhu 1200°C dalam kondisi padat yang dilanjutkan dengan pelarutan dengan air, di mana larutan sodium aluminat yang dihasilkan dipresipitasi dengan karbon dioksida (CO_2). Cara lain yaitu dengan melarutkan bijih bauksit ke dalam larutan sodium karbonat dan kapur dalam kondisi panas (suhu 900°C selama 30 menit) yang menghasilkan larutan sodium aluminat (kadar silika reaktif $< 0,1\%$) dengan persen ekstraksi alumina sebesar 95% dan meninggalkan residu berupa kalsium silikat (Amer, 2013). Proses basa yang disebutkan terdahulu telah ditinggalkan setelah ditemukannya proses Bayer oleh Karl Bayer (Rusia) yang menggunakan soda kaustik pada tahun 1887 dan proses ini sudah umum digunakan dan lebih menguntungkan untuk memproduksi alumina (Al_2O_3) murni dari bauksit karena dapat dioperasikan pada suhu yang lebih rendah dan endapan yang didapat mudah disaring dan dicuci, sehingga proses ini paling umum digunakan sampai saat ini (Habashi, 2005). Teknologi ini sudah diimplementasikan di dalam industri alumina selama lebih dari seratus tahun. Konsentrasi soda kaustik yang digunakan untuk keperluan proses umumnya berkisar 100-300 g/liter dengan kapasitas $150 \text{ m}^3/\text{reaktor}$ pada suhu reaksi antara $140\text{-}280^\circ\text{C}$ yang tergantung pada jenis bauksitnya (Thompson, 1995). Untuk bauksit jenis gibsit membutuhkan suhu reaksi sekitar 140°C , sedangkan jenis bohmit memerlukan suhu yang lebih tinggi yaitu antara $200\text{-}240^\circ\text{C}$. Walaupun semakin tinggi suhu, semakin memberikan keuntungan dalam hal ekstraksinya, namun bisa menyebabkan terjadinya masalah korosi terhadap peralatan dan kemungkinan oksida selain alumina juga ikut terlarut oleh soda kaustik (International Aluminium Institute, 2000).

Tahapan proses Bayer dimulai dengan pemecahan dan penggerusan bauksit untuk mendapatkan ukuran butir lebih halus dengan luas permukaan spesifik yang lebih besar dan derajat liberasi yang lebih tinggi sehingga

lebih mudah dalam ekstraksinya, dilanjutkan dengan pengayakan (klasifikasi). Bauksit halus dicampur dengan larutan NaOH, kemudian dilarutkan/dimasak (*digestion*) menggunakan media pemanas berupa uap pada tekanan 58,8-67,62 lb/in² (4-4,6 atm), suhu sampai 140°C, konsentrasi NaOH 140-158 g/L, kapasitas bauksit (kadar Al₂O₃=48%) 31,36-34,90 ton (ratio Al₂O₃/NaOH=0,8) (Husaini, dkk., 2014), waktu 45 menit yang menghasilkan larutan sodium aluminat yang dapat dipisahkan dari sisa padatan tidak larut (*red mud*) (Habashi, 2005; Maa dkk., 2009; Donoghue dkk., 2014). Reaksi yang terjadi pada proses *digestion* bauksit tipe gibsit adalah sebagai berikut :



Bauksit yang akan diolah dengan menggunakan proses Bayer, selain harus memiliki kadar alumina cukup tinggi (>45% Al₂O₃), kandungan silika reaktifnya harus cukup rendah. Hal ini disebabkan silika reaktif ikut terlarut dengan NaOH sehingga kebutuhan NaOH akan meningkat dengan bertambahnya kandungan silika reaktif dalam bijih bauksitnya. Secara umum, bila bijih bauksit yang mengandung silika reaktif > 7% (dasar kering) diproses dengan metoda Bayer, maka tidak ekonomis karena setiap 1 lb keberadaan silika reaktif dalam bijih akan mengkonsumsi dan menghilangkan 1 - 2 lb alumina serta mengkonsumsi 2-3 lb soda kaustik (Sydney, 1961). Hal ini disebabkan, selain bereaksi dengan Al₂O₃, NaOH juga bereaksi dengan silika reaktif membentuk Na₂O.SiO₂ (sodium silikat) dan senyawa ini akan bereaksi dengan Na₂O.Al₂O₃ (sodium aluminat) membentuk sodium aluminat silikat yang merupakan *sodalite* yang akan segera mengendap bersama *red mud* dengan reaksi sebagai berikut (Smith, 2009):



Berdasarkan fenomena diatas, maka biasanya kandungan silika reaktif dalam bijih bauksit harus < 3%. Kandungan oksida besi dan titan juga harus rendah karena kedua komponen tersebut sebagai bahan pengotor yang terbawa bersama *red mud*. Tetapi bauksit dengan kadar Al₂O₃ ≥ 48% yang mengandung oksida

besi sebesar 20% masih dapat digunakan untuk memproduksi logam aluminium. Untuk bauksit yang kandungan silikanya tinggi atau yang termasuk *low grade* biasanya digunakan metoda kombinasi antara proses Bayer dengan proses *lime-sintering* sebagaimana sudah dilakukan di Cina (Smith, 2009). Metoda ini dapat memanfaatkan kelebihan dari kedua proses tersebut. Residu dari proses Bayer dicampur dengan kapur dan NaOH dan di-*sinter* pada suhu 982,22-1.093,33 °C dan hasil *sinter*-nya direaksikan dengan larutan soda kaustik untuk melarutkan sebagian besar alumina dan sebagian kecil silika. Soda kaustik sisa hasil reaksi kemudian ditambahkan sebagai bagian dari umpan proses *digestion* pada proses Bayer. Proses ini mampu mengekstrak alumina dalam bauksit antara 85-90% dibandingkan dengan proses Bayer yang hanya mencapai di bawah 70% bila digunakan bahan baku yang sama (Sydney, 1961). Namun sampai saat ini, proses Bayer masih diaplikasikan secara komersial dan belum ada pabrik alumina menggunakan metode selain proses Bayer.

Metode lain untuk memperbaiki kinerja dari proses Bayer yaitu dengan menambahkan bahan desilikasi berupa kapur atau turunannya. Penambahan kapur dapat menurunkan jumlah konsumsi NaOH terutama pada suhu proses yang tinggi. Menurut Gao-Feng, dkk. (2013), ratio (Al₂O₃)/(SiO₂) dan (Na₂O)/(SiO₂) dalam *red mud* yang dihasilkan dengan penambahan kapur masing-masing turun dari 1,53 menjadi 1,43 dan dari 0,28 menjadi 0,24. Selain itu kapur juga dapat mengkonversi *sodalite* dan *cancrinite* menjadi *hydrogamet* dengan bantuan ion CO₃²⁻. Penambahan kapur juga dapat mengurangi pengotor berupa karbonat, silika dan *phosphorous* dalam larutan sodium aluminat (Pan dkk, 2012). Oleh sebab itu, kapur yang dipilih untuk percobaan *digestion* dalam tulisan ini adalah kalsium karbonat (CaCO₃).

Sodium aluminat yang dihasilkan merupakan bahan kimia anorganik. Bahan ini digunakan sebagai sumber aluminium hidroksida yang diperoleh dari proses presipitasi larutan sodium aluminat supersaturasi dengan bantuan *seed*. Aluminium hidroksida yang dihasilkan dapat digunakan pada berbagai keperluan antara lain untuk bahan baku polialuminium klorida (PAC), keramik, cat, dan yang terbesar adalah untuk logam aluminium. Oleh sebab itu

pembuatan sodium aluminat juga harus memperhatikan spesifikasi larutan yang sesuai untuk langkah proses berikutnya yaitu presipitasi. Larutan sodium aluminat dapat diubah menjadi padatan (anhidrat) sodium aluminat dengan proses pengentalan melalui penguapan. sodium aluminat anhidrat murni adalah kristal padat berwarna putih mempunyai beberapa rumus kimia yaitu NaAlO_2 , $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, atau $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$. Pentingnya bahan ini secara komersial adalah karena aplikasi tekniknya yang beragam. Dalam sistem pengolahan air, bahan ini digunakan untuk pelunakan air, sebagai koagulan untuk memisahkan padatan tersuspensi dan beberapa logam di antaranya Cr, Ba, dan Cu serta penghilangan silika terlarut. Di bidang teknik konstruksi, sodium aluminat dipakai untuk mempercepat pematangan beton terutama bila bekerja selama perioda dingin (*frosty*). Bahan ini digunakan juga di industri kertas, produksi bata api dan alumina. Selain itu, bahan ini digunakan sebagai produk antara (*intermediate product*) dalam pembuatan zeolit sintetik untuk detergen, penapis molekul (*molecular sieves*), adsorben dan katalis (Contreas dkk., 2006).

Pemanfaatan larutan NaAlO_2 di atas, menunjukkan pentingnya kualitas sodium aluminat yang dihasilkan. Kebutuhannya yang beragam menunjukkan bahwa jumlahnya yang diperlukan akan besar. Untuk itu, dalam makalah ini akan dibahas mengenai optimasi ekstraksi bauksit dengan soda kaustik pada skala pilot (100 kg umpan bauksit/*batch*) untuk menghasilkan larutan sodium aluminat menggunakan reaktor bertekanan yang dilengkapi dengan uap yang kontak langsung dengan material yang ada di dalam reaktor tersebut.

METODE

Percobaan *digestion* dilakukan dengan menggunakan bauksit dari Tayan, Kalimantan Barat yang sudah melalui proses *upgrading* dengan kadar rata-rata 47,62% Al_2O_3 dan 3,09% SiO_2 reaktif. Kadar oksida yang digunakan adalah kadar rata-rata karena setiap percobaan kadar Al_2O_3 dan SiO_2 reaktif pada bauksit yang digunakan tidak tepat sama. Percobaan *digestion* awal dilakukan terhadap umpan bauksit dengan ukuran partikel -80 mesh menggunakan NaOH dengan konsentrasi

422 g/L dengan persen solid campuran sebesar 38%. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam reaktor sebagaimana yang tampak pada Gambar 1 (reaktor berwarna biru) dengan pemanas *steam* yang dihasilkan dari *boiler* (Gambar 2), bertekanan 4-4,6 atm yang kontak langsung dengan material dalam reaktor. Variasi yang digunakan pada penelitian *digestion* ini adalah waktu reaksi (1, 1,5, dan 2 jam), ukuran partikel -0,177 mm (-80 mesh); -0,149 mm (-100 mesh); -0,0965 mm (-150 mesh) dan kelebihan NaOH di atas kebutuhan stoikiometrinya (1,37-35,25%). Tahap penelitian dimulai dengan penentuan waktu reaksi yang memberikan perolehan terbaik, dilanjutkan dengan pemilihan ukuran partikel yang memberikan perolehan tertinggi, dan diakhiri dengan penentuan eksese NaOH dengan menggunakan waktu dan ukuran partikel yang didapat dari tahap penelitian sebelumnya. Kebutuhan NaOH berlebih dihitung berdasarkan stoikiometri reaksi terhadap kandungan Al_2O_3 dan SiO_2 reaktif dalam bauksit dan percobaan dilakukan pada suhu berkisar 140-150°C dengan tekanan uap antara 4,0-4,6 atm. Percobaan *digestion* yang dilakukan menghasilkan *slurry* yang selanjutnya dialirkan ke *filter press* (Gambar 4) untuk memisahkan residu (*red mud*) yang tidak terlarut yang masih bercampur dengan larutan sodium aluminatnya. Larutan dan padatan yang dihasilkan dianalisis komposisi kimianya untuk mengetahui kandungan Al terlarut dan Al tidak terlarut yang dinyatakan sebagai Al_2O_3 , sehingga proses *digestion* tersebut dapat dihitung perolehannya.

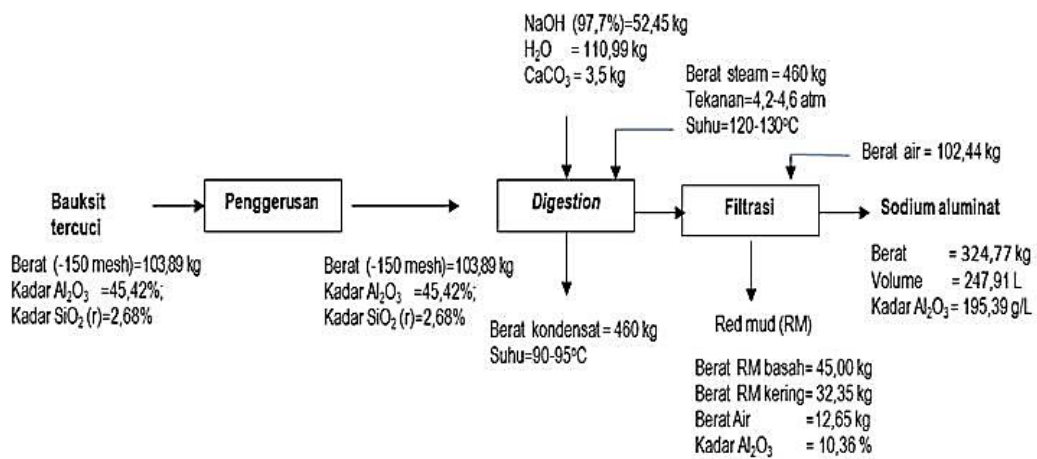
Bagan alir dan neraca massa proses *digesting* bauksit dapat dilihat pada Gambar 3 yang menjelaskan bahwa untuk memproduksi sodium aluminat seberat 324,77 kg (247,91 L), dibutuhkan bahan baku bauksit (kadar Al_2O_3 45,42%; SiO_2 (r) 2,68%) sebesar 103,89 kg, NaOH (kemurnian 97,7%) = 52,45 kg (berlebih 28,83%) dengan konsentrasi NaOH awal 409,59 g/L, kapur 3,5 kg, dan air 110,99 kg. Persen solid awal 38,86%. *Red mud* basah yang dihasilkan adalah 45 kg (32,35 kg *red mud* kering dan 12,65 kg air) dengan kadar Al_2O_3 10,36%. Persen ekstraksi Al_2O_3 yang diperoleh dengan kondisi tersebut adalah 93,98%. Jumlah kebutuhan uap mulai dari awal sampai reaksi dihentikan sebesar 460 kg yang dioperasikan pada tekanan 4,0-4,6 atm dan suhu sekitar 140°C selama 2 jam.



Gambar 1. Reaktor autoclaf



Gambar 2. Boiler pembangkit uap



Gambar 3. Bagan alir dan neraca masa percobaan *digesting* skala 100 kg umpan/batch



Gambar 4. Filter Press untuk pemisahan larutan sodium aluminat dari red mud

HASIL DAN PEMBAHASAN

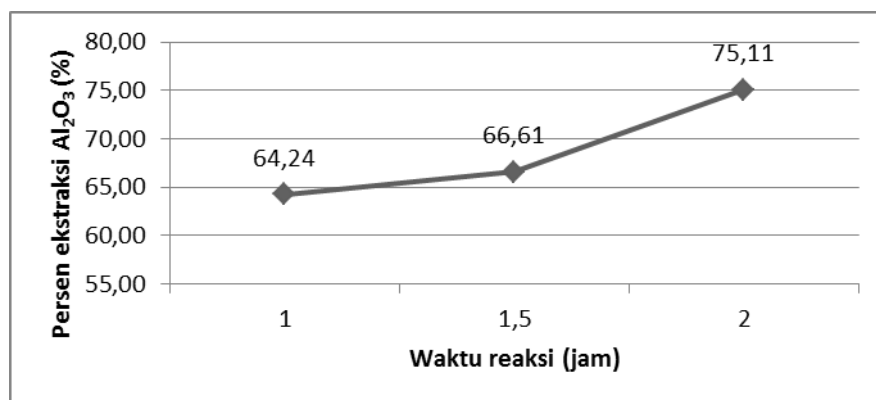
Dalam percobaan ini, larutan sodium aluminat dan *cake* berupa *red mud* dihasilkan melalui proses filtrasi dengan menggunakan *filter press*. Perolehan yang dihasilkan dihitung berdasarkan kadar (%) Al_2O_3 dalam filtrat dan *red mud* yang dihasilkan.

Pengaruh waktu reaksi terhadap perolehan Al_2O_3 dapat dilihat pada Gambar 5. Bauksit dengan ukuran -0,0965 mm (lolos saringan 150 mesh) direaksikan dengan NaOH pada suhu 140°C menggunakan uap pada tekanan 4 atm secara kontak langsung dan variasi waktu antara 1 sampai 2 jam memberikan perolehan Al_2O_3 tertinggi sebesar 75,11% dalam waktu 2 jam. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya waktu, persen ekstraksi Al_2O_3 cenderung meningkat. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya waktu, kesempatan kontak antara komponen alumina di dalam bijih bauksit dengan NaOH semakin besar, sehingga Al_2O_3 yang bereaksi dan terlarut semakin banyak.

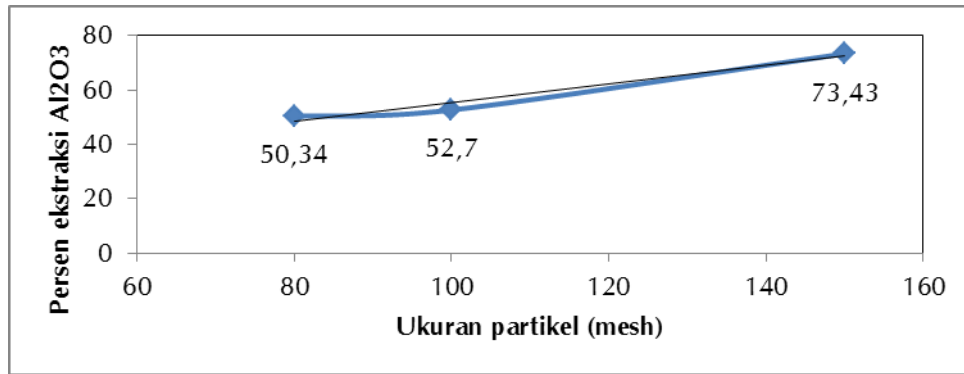
Hasil ekstraksi bauksit dengan NaOH untuk variasi ukuran partikel dengan waktu reaksi selama 2 jam dan suhu sekitar 140°C dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin halus ukuran

partikel bauksit, maka persen ekstraksi Al_2O_3 yang diperoleh semakin besar. Untuk ukuran butir bauksit berturut-turut -0,177 mm (-80 mesh); -0,149 mm (-100 mesh); -0,0965 mm (-150 mesh), persen ekstraksi alumina yang dihasilkan berturut-turut 50,34%, 52,7% dan 73,43%. Dari variasi ukuran ini, persen ekstraksi tertinggi dicapai dengan menggunakan ukuran butir -0,0965 mm (-150 mesh), sehingga pada percobaan tahap berikutnya digunakan kondisi ini. Hasil tersebut sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian *Mathad dkk. (2016)*, yang menggunakan bauksit berukuran 0,125 mm (-120 mesh), persen ekstraksi Al_2O_3 yang didapat sebesar 90,5%.

Penjelasan di atas mudah dipahami, bahwa dengan semakin halus ukuran partikel, maka selain derajat liberasi mineral gipsit yang kandungan utamanya Al_2O_3 semakin tinggi, luas permukaan spesifiknya juga semakin tinggi, sehingga kesempatan kontak antara Al_2O_3 dengan NaOH semakin besar. Dengan semakin halus ukuran partikel, inklusi mineral berharga (gipsit) dalam pengotor lebih banyak yang terbebaskan, sehingga Al_2O_3 lebih mudah terekstrak. Namun energi yang dibutuhkan semakin besar untuk mendapatkan ukuran partikel yang semakin halus (Sahoo, 2014).

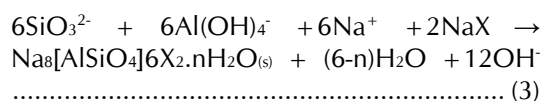


Gambar 5. Pengaruh waktu reaksi terhadap persen ekstraksi Al_2O_3 (ukuran partikel bauksit -0,0965 mm)



Gambar 6. Pengaruh ukuran partikel bauksit -0,177 mm; -0,149 mm; -0,0965 mm terhadap persen ekstraksi Al₂O₃ dengan lama reaksi 2 jam

Selain ukuran partikel dan waktu reaksi, variabel yang sangat mempengaruhi perolehan Al₂O₃ adalah konsentrasi NaOH. Jumlah NaOH berlebih yang digunakan divariasikan mulai dari 1,37% sampai 35,25% dari stoikiometri yang dihitung berdasarkan jumlah Al₂O₃ dalam bauksit (Tabel 1). Data pada Tabel tersebut menunjukkan bahwa dengan bertambahnya NaOH berlebih, nilai ekstraksi Al₂O₃ cenderung meningkat. Dengan menggunakan NaOH berlebih terkecil 1,37%, persen ekastraksi Al₂O₃ hanya sebesar 37,07%, kemudian naik menjadi 93,98% pada NaOH berlebih 28,83% (persen ekstraksi tertinggi), setelah itu persen ekstraksinya sedikit mengalami penurunan menjadi 90,29% pada NaOH berlebih 31,40% dan turun lagi menjadi 89,17% pada NaOH berlebih 35,25%. Sedangkan konsentrasi larutan NaAlO₂ yang dihasilkan berfluktuasi antara 67-222 g/L dengan volume larutan berkisar antara 189,76-335,64 L (Tabel 1 atau Gambar 7). Fluktuasi tersebut terjadi karena penambahan air di akhir proses pelarutan tidak sama. Penambahan air tersebut berfungsi untuk pengenceran dan pendinginan sebelum proses filtrasi dilakukan. Turunnya persen ekstraksi Al₂O₃ dengan semakin besarnya NaOH berlebih yang digunakan ini disebabkan oleh sebagian Al₂O₃ yang sudah terlarut bereaksi dengan silika reaktif yang ada dalam bauksit membentuk sodium aluminium silikat atau sodalit (Na_{8,08} Al₆Si₆O_{28,88} S_{0,98}) yang bercampur ke dalam *red mud*. Menurut Palmer (2009), reaksi pembentukan sodalit adalah sebagai berikut:



Sedangkan komposisi kimia sodalit secara umum adalah: [3(Na₂O.Al₂O₃.2SiO₂.nH₂O). Na₂X; dimana n bilangan antara 0 sampai 2 dan X menggambarkan CO₃²⁻, SO₄²⁻, 2OH⁻, 2Cl⁻ (Palmer, 2009). Sodalit umumnya terbentuk pada kondisi konsentrasi NaOH dan suhu tinggi (>100°C). Semakin tinggi kandungan silikat dalam bauksit, sodalit yang dihasilkan semakin banyak, sebaliknya perolehan alumina (Al₂O₃) semakin rendah karena larutan NaAlO₂ yang sudah terbentuk bereaksi dengan silikat membentuk sodalit tersebut (Chen dkk., 2007).

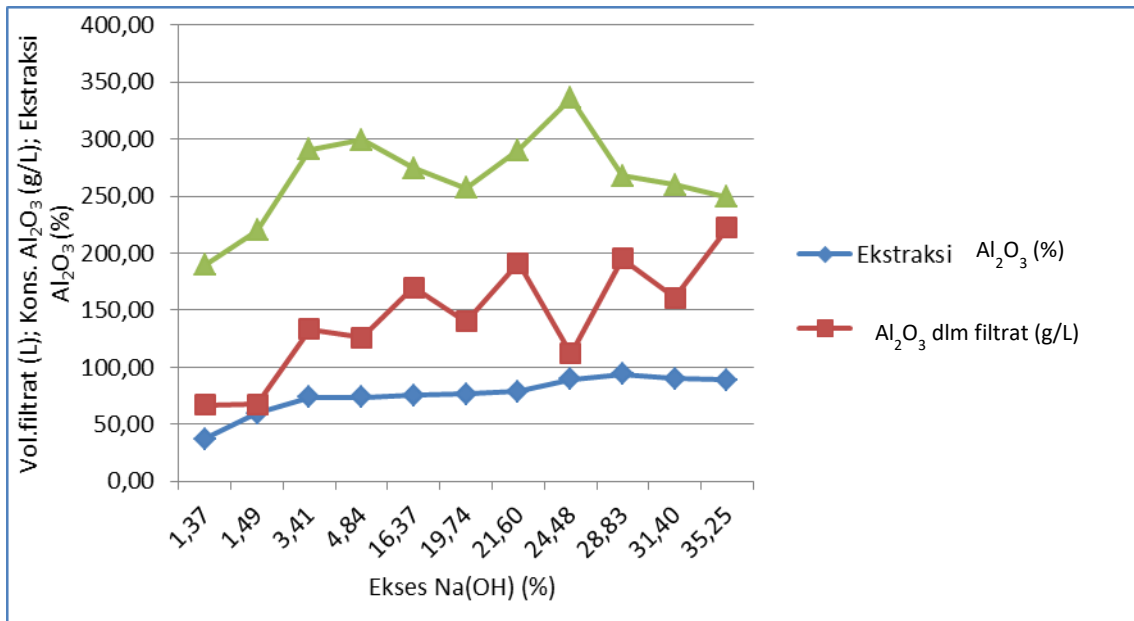
Red mud hasil pelarutan bauksit Tayan, Kalbar dengan NaOH mengandung lima (5) komponen mineral utama yaitu kuarsa, sodalit, gipsit, gutit, dan hematit (Gambar 8); sedangkan menurut hasil penelitian Castaldi (2008, 2011), *red mud* yang mengandung sekitar 80% (berat) fasa kristalnya memiliki empat (4) komponen utama yaitu: sodalit, hematit, gipsit, dan bohmit; hasil penelitian Liang (2013) menunjukkan bahwa sekitar 70% (berat) dari *red mud* hasil penelitiannya mengandung empat (4) komponen utama yaitu hematit (Fe₂O), gipsit (Al(OH)₃, bohmit (AlO(OH)), sodalit (Na₈(Al₆Si₆O₂₄)Cl₂/ (Na₈(Al₆Si₆O₂₄)CO₃); hasil penelitian Feret (2013), komponen utamanya adalah sodalit (Na_{8,08} Al₆Si₆O_{28,88} S_{0,98}), *cancrinite* (Na_{7,14} Al₆Si₆O_{31,6}), *cancrinite* NO₃ (Na_{7,92} Al₆Si₆O_{31,56} N_{1,74}) dan *nosean* (Na₈Al₆Si₆O₂₈S) dan hasil penelitian Newson (2006), komponen utama *red mud* adalah mineral besi (sebagai hematit (Fe₂O₃) dan gutit [alpha-FeO(OH)] dan sodalit [Na₈(Al₆Si₆O₂₄)Cl₂] (Gambar 9). Sedangkan komponen minornya antara lain : kuarsa (SiO₂), muskovit (KAl₂(Si₃Al)O₁₂Cl), kalsit

(CaCO₃), siderit (FeCO₃), dan rutil (TiO₂) (Tabel 2). Jadi dari semua hasil penelitian *digesting* bauksit dengan soda kaustik oleh

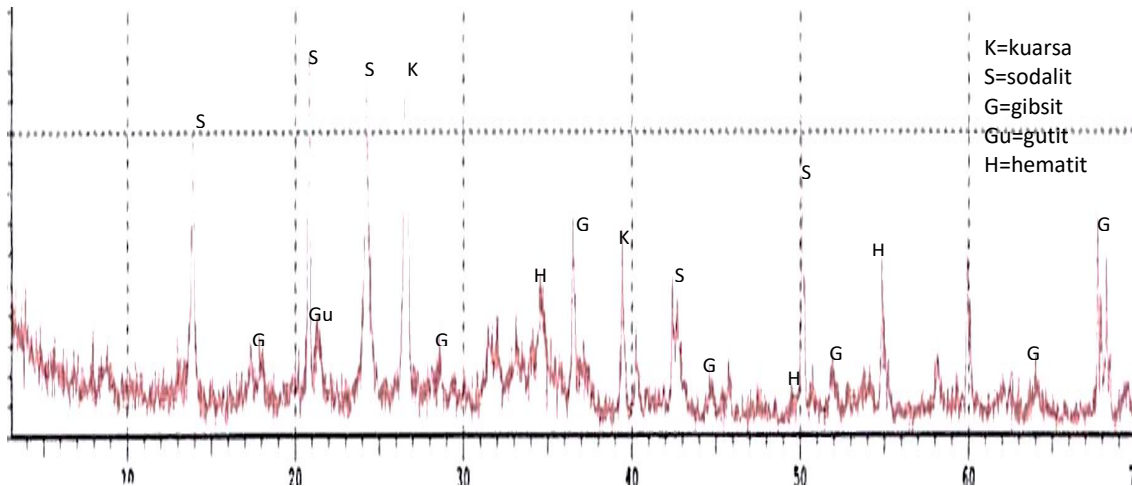
beberapa peneliti yang telah dijelaskan di atas selalu ditemukan adanya produk samping berupa sodalit di dalam *red mud* nya.

Tabel 1. Data hasil *digestion* bauksit Meliau, Kalbar, variasi NaOH berlebih

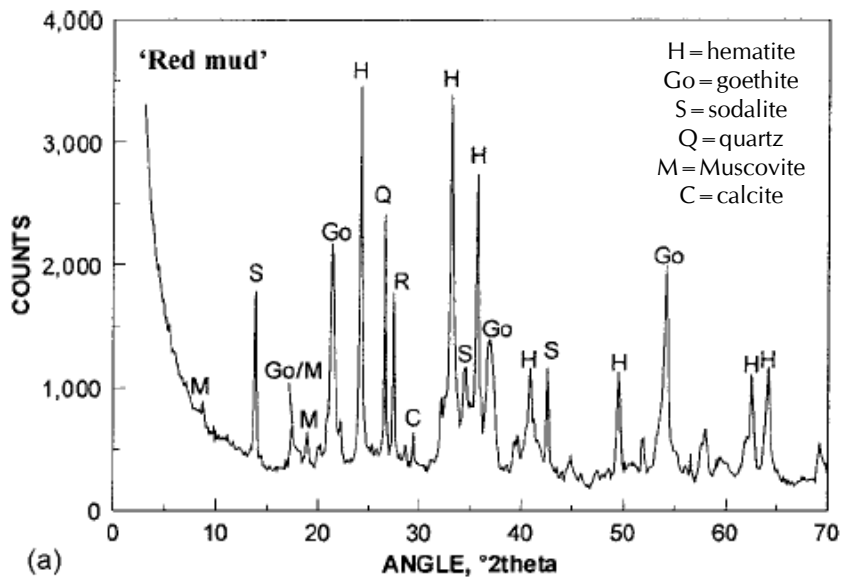
No	NaOH berlebih	perolehan Al ₂ O ₃ (%)	Kons. Al ₂ O ₃ dlm filtrat (g/L)	Volume filtrat (L)
1	1,37	37,07	67,00	189,76
2	1,49	59,56	67,60	220,16
3	3,41	73,74	133,20	290,84
4	4,84	73,75	126,00	299,39
5	16,37	75,46	169,90	274,58
6	19,74	76,65	139,90	257,25
7	21,60	79,06	191,20	290,53
8	24,48	89,76	112,00	335,64
9	28,83	93,98	195,39	267,90
10	31,40	90,29	161,00	259,73
11	35,25	89,17	222,00	249,21



Gambar 7. Pengaruh NaOH berlebih terhadap persen ekstraksi Al₂O₃ (ukuran partikel bauksit -0,0965 mm, waktu reaksi 2 jam)



Gambar 8. Grafik difraktogram *red mud* hasil *digesting* bauksit Meliau, Kalbar (tekMIRA, 2015)



Gambar 9. Grafik difraktogram *red mud* hasil analisis XRD (Newson, 2006)

Tabel 2. Komposisi mineral *red mud* hasil *digesting* bauksit (Newson, 2006)

Jenis mineral	Rumus kimia	<i>Red mud</i> (%)
Kuarsa	SiO ₂	1,2
Hematit	Fe ₂ O ₃	13,5
Gutit	FeO(OH)	21,8
Rutil	TiO ₂	4,6
Sodalit	Na ₄ (Si ₃ Al ₃)O ₁₂ Cl	17,5
Kalsit	CaCO ₃	0,7
Muskovit	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH, F) ₂	2,4
Siderit	FeCO ₃	0,1
Perovskit	CaTiO ₃	-
Gibsit	Al(OH) ₃	-
Amorf		38,2

KESIMPULAN

Proses pelarutan bauksit asal Tayan, Kalimantan Barat, dengan NaOH pada kapasitas 100 kg umpan/*batch* pada suhu sekitar 140°C dan tekanan 4 atm, menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi, semakin halus ukuran butir, dan semakin tinggi NaOH berlebih yang digunakan, menghasilkan perolehan alumina (Al₂O₃) yang semakin tinggi. Kondisi proses terbaik adalah penggunaan NaOH berlebih 28,83% dengan perolehan alumina tertinggi 93,98% dengan lama reaksi 2 jam dan ukuran butir -150 mesh (-0,105 mm).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral atas dukungan anggaran penelitian yang disediakan. Tak lupa diucapkan terima kasih kepada Kusna Wijaya, Ade Setia Permana atas bantuannya dalam proses *digestion* di *pilot plant* Bauksit, Citatah.

DAFTAR PUSTAKA

Antam, PT, Tbk, 2014. *Rotary Drum Scrubber di UBPB Tayan*. Tayangan Presentasi Unit Bisnis Pertambangan Bauksit di Focus Group Discussion Bauksit di Puslitbang tekMIRA.

Amer, A.M., 2013. Hydrometallurgical Processing of Egyptian Bauxite, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49(2), 2013, 431 – 442.

Contreas, A., Sugita, S., dan Ramos, E., 2006. Preparation of Sodium Aluminate From Basic Aluminium Sulfate. *Azo Journal of Materials Online, Volume 2*.

Chen, H-L., Lewellyn, M., Chamberlain, O., Heitner, H., Kula, F., Dai, Q., Franz, C., 2007. Sodalite Scale Control In Alumina Bayer Process, *Corrosion* 2007, 11-15 March, Nashville, Tennessee.

Castaldi , P., Silvetti, M., Enzo, S., dan Deiana, S., Laura, Santona, L., dan Melis, P., 2008. XRD, FTIR, and thermal analysis of bauxite ore-processing waste (Red Mud) exchanged with heavy metals. *Clays and Clay Minerals*, Vol. 5 (4), p. 461-469. ISSN 1552-8367.

Castaldi , P., Silvetti, M., Enzo, S., dan Deiana, S., 2011. X-Ray Diffraction and Thermal Analysis of Bauxite Ore-Processing Waste (Red Mud) Exchanged with Arsenate and Phosphate, *The Clay Minerals Society*.

Donoghue, A. M., Frisch, N. , Olney, D.,, 2014. Bauxite Mining and Alumina Refining: Process Description and Occupational Health Risks, *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, May 2014 - Volume 56, Issue - p S12–S17.

Feret, F.R., 2013. Selected Applications of Rietveld-XRD Analysis for Raw Material of The Aluminium Industry, *International Centre for Diffraction Data 2013 ISSN 1097-0002*, Saint-Colomban, Quebec

Gao-Feng, F., Fu-Quan, T., Kun, Q., 2013. Study on digestion of Chinese middle/low grade bauxite in lime Bayer process, *Journal of Northeastern University*, 2005, Vol. 26, Issue (11): 76-78.

Habashi, F., 2005. A History of Hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 79, 15-22.Elsevier.

Husaini, Suganal, Suryo Cahyono, dan Dessy Amalia, 2014. Laporan Perjalanan Dinas ke Kabupaten Pontianak dan Mempawah, Meliau, dan Tayan, Propinsi Kalimantan Barat pada tanggal 9 Juni – 12 Juni 2014, tidak diterbitkan.

Liang, W., 2013. *Characterization and Reuse of Solid wastes*, Master of Engineering (Research), Faculty of Science and Technology, Queensland University of Technology.

Maa, S., Wena, Z.G, Chen, J.N. dan Zheng S.L., 2009. An environmentally friendly design for low-grade diasporic-bauxite processing, *Minerals Engineering*, 22 (2009) 793–798.

Mathad, G. G., Altekar, D. V. A., 2016. *Studies in the Amenability of Kolhapur Bauxite to Bayer's Process-Parts I and II*, Reader in Met. Engg., Department of Chemical Technology, University of Bombay, Bombay, diunduh tanggal 20 Januari 2016

Newson, T., Dyer, T., Adam, C., dan Sharp, S., 2006. Effect of Structure on the Geotechnical Properties of Bauxite Residue, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.

Palmer, Sara J. and Frost, Ray L. dan Nguyen, Tai M. 2009. Hydrotalcites and their role in coordination of anions in Bayer liquors:

- Anion binding in layered double hydroxides. *Coordination Chemistry Reviews* 253(1-2):pp. 250-267, Copyright 2009 Elsevier.
- Pan X., Yu H., Wang B., Zhang S., Tu, G. dan Bi S., 2012. Effect Of Lime Addition On The Pre-desilication And Digestion Properties Of A Gibbsite-Bauxite. *Light Metals 2012* Edited by: Carlos E. Suarez. TMS (*The Minerals, Metals & Materials Society*).
- Sahoo A., 2014. Simulation studies on Energy Requirement, Work Input and Grindability of Ball Mill. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Volume 4, Issue 2, Halaman 592 – 597.
- Smith, P., 2009. The Processing Of High Silica Bauxites - Review Of Existing And Potential Processes. *Hydrometallurgy*, 98,162–176.
- Sydney, Margery, dan Johnstone, J., 1961. *Minerals for the Chemical and allied Industries*, Ed. 2nd, John Wiley & Sons Inc, New York, USA, hal. 5-28.
- Thompson, R., 1995. *Industrial Inorganic Chemicals : Production and Uses*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge CB4 4WF, UK.
- The International Aluminium Institute, 2000. Bayer Process Chemistry, *World Aluminium Org., Home of the International Aluminium Institute*.

