

PREPARASI ABU DASAR (*BOTTOM ASH*) PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP BATUBARA MENGGUNAKAN PELARUT ASAM SEBAGAI BAHAN BAKU SINTESIS γ - Al_2O_3

R.A.W. Anggraini¹, A. Azalia¹, D. Bahrin^{1*}, P. Conniwanti¹ dan P. Susmanto¹

¹ Teknik Kimia, Fakultas Teknik-Universitas Sriwijaya, Inderalaya

Corresponding author: davidbahrin@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Abu dasar batubara mengandung senyawa alumina yang merupakan bahan penting yang sangat diperlukan dalam pembuatan katalis dan adsorben. Komponen utama yang terkandung dalam abu dasar batubara meliputi unsur aluminium (Al), silika (Si), kalsium (Ca), besi (Fe) dan magnesium (Mg). Hasil analisis abu dasar batubara dari salah satu pembangkit listrik tenaga uap di Lahat memperlihatkan bahwa kandungan aluminium (Al), silika (Si), kalsium (Ca), besi (Fe) dan magnesium (Mg) dalam %-berat masing-masing adalah 27,24; 16,52; 23,25; dan 3,81; serta sisanya adalah unsur lainnya seperti phosphor (P), kalium (K), titanium (Ti), mangan (Mn), seng (Zn), perak (Ag), dan lain-lain. Preparasi abu dasar batubara (*coal bottom ash*) menggunakan pelarut asam HCl, H₂SO₄ dan HNO₃ pada konsentrasi 1, 4 dan 8 M secara nyata mampu menurunkan kadar Ca dalam abu dasar batubara dengan penurunan Ca rata-rata mencapai 90%-berat. Penurunan kadar Si pada abu dasar batubara tidak dipengaruhi oleh jenis asam, namun lebih dipengaruhi oleh konsentrasi pelarut asam yang digunakan. Pada konsentrasi 1 M baik menggunakan pelarut HCl, H₂SO₄ maupun HNO₃, jumlah silika yang dapat dipisahkan dari abu dasar batubara sangat rendah masing-masing 30,2, 10,5, dan 51,54%-berat. Pada konsentrasi yang lebih tinggi 4 dan 8 M, jumlah silika yang dapat dipisah cukup besar dengan rata-rata % pemisahan mencapai 96,3%-berat. Peningkatan kadar aluminium (Al) hanya terjadi pada preparasi abu dasar batubara menggunakan pelarut asam HCl dengan konsentrasi 4 dan 8 M, menggunakan pelarut H₂SO₄ dengan konsentrasi 1 dan 8 M, dan HNO₃ dengan konsentrasi 1 dan 4 M. Peningkatan terbaik kadar Al terjadi pada preparasi abu dasar batubara dengan pelarut HNO₃ 4 M, dengan persentase peningkatan mencapai 63,84 %-berat dilihat dari unsur-unsur lain yang berkurang. Preparasi abu dasar batubara dengan pelarut asam secara nyata tidak mampu menurunkan kadar besi (Fe) dari abu dasar batubara.

Kata Kunci: alumina, abu dasar, batubara, preparasi, dan pelarut asam

ABSTRACT: Coal bottom ash contains alumina which is an important compound that is needed in the manufacturing of catalysts and adsorbents. The main components of coal bottom ash are of aluminum (Al), silica (Si), calcium (Ca), iron (Fe) and magnesium (Mg). The analysis of coal bottom ash from one of the PLTU in Lahat containing aluminum (Al), silica (Si), calcium (Ca), iron (Fe) and magnesium (Mg) in %weight are 27.24; 16.52; 23.25; and 3.81 respectively; and other elements such as phosphorus (P), potassium (K), titanium (Ti), manganese (Mn), zinc (Zn), silver (Ag), and others. Preparation of coal bottom ash using acid solvents such as HCl, H₂SO₄ and HNO₃ at concentrations of 1, 4 and 8 M showed that can significantly reduce Ca containing in coal bottom ash with the average of Ca decreasing reach 90%-weight. Reducing Si content in coal bottom ash does not correspond to the type of acid, but is more influenced by the concentration of acid solvents used. At concentrations of 1 M using HCl, H₂SO₄ and HNO₃ the amount of silica that can be calculated from bottom ash is 30.2, 10.5 and 51.54%-weight. In higher concentrations of 4 and 8 M, the amount of silica that can be separated is quite large with an average of 96.3% weight adjustment. The increasing amount of aluminum (Al) only occur in the preparation of coal bottom ash using HCl with concentrations of 4 and 8 M, using H₂SO₄ with concentrations of 1 and 8 M, and HNO₃ with concentrations of 1 and 4 M. The best increasing amount of Al occurred in the preparation of coal bottom ash with 4 M HNO₃ as acid solvent, with an increasing percentage reaching 63.84% -weight which is seen from other reduced elements. Coal bottom ash preparation with acid solvents is significantly unable to reduce iron (Fe) content from coal bottom ash.

Keywords: alumina, bottom ash, coal, preparation, acidic solvent.

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah Pembangkit Listrik Tenaga Uap berbahan bakar batubara (PLTU-batubara) di Indonesia menyebabkan peningkatan jumlah limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) yang dapat berdampak buruk pada lingkungan sehingga perlu upaya serius untuk menanganinya. Jumlah FABA yang diproduksi oleh PLTU bervariasi tergantung pada jenis batubara yang digunakan, kandungan abu batubara dan jenis teknologi PLTU. FABA hasil pembakaran batubara pada PLTU jenis *pulverized* didominasi oleh abu terbang (*fly ash*) yaitu berkisar antara 80-90% dan sisanya adalah abu dasar (*bottom ash*) (Ramme dan Tharaniyil, 2013). Abu dasar (*bottom ash*) PLTU-batubara) mengandung senyawa alumina yang merupakan bahan penting yang sangat diperlukan dalam pembuatan katalis dan adsorben (Rashidi dan Yusuf, 2016). Pelepasan abu sisa pembakaran berupa *bottom ash* akan berdampak buruk bagi lingkungan sehingga perlu adanya penanganan khusus untuk mengatasi dampak tersebut salah satunya dengan memanfaatkan limbah menjadi material baru yang mempunyai nilai ekonomis (Suprpto, 2009).

Komponen utama yang terkandung dalam abu dasar batubara (%-berat) meliputi unsur aluminium (Al) dalam bentuk Al_2O_3 sekitar 18,8%, silika (Si) dalam bentuk SiO_2 sekitar 46,7%, kalsium (Ca) dalam bentuk CaO sekitar 17,8%, besi (Fe) dalam bentuk Fe_2O_3 sekitar 5,9%, dan magnesium (Mg) dalam bentuk MgO 4,0% dan sisanya K dan Na dalam bentuk K_2O dan Na_2O (Ramme dan Tharaniyil, 2013). Hasil analisis abu dasar batubara dari salah satu PLTU yang ada di Sumatera Selatan memperlihatkan kandungan aluminium (Al), silika (Si), kalsium (Ca), besi (Fe) dan magnesium (Mg) dalam %-berat masing-masing adalah 27,24; 16,52; 23,25; 3,81, sisanya adalah unsur lainnya seperti fosfor (P), kalium (K), titanium (Ti), mangan (Mn), seng (Zn), perak (Ag), dan lain-lain. Saat ini, pemanfaatan komersial abu dasar batubara baru sebatas pada bahan pencampur (aditif) dan bahan dasar untuk pembuatan semen, beton dan batu bata.

Alumina merupakan salah satu komponen abu dasar batubara (*bottom ash*) dengan rentang komposisi 2,5% - 36% (Jayaranjan dkk., 2014). Di antara alumina transisi, gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) merupakan suatu bahan yang penting digunakan dalam berbagai bidang, misalnya sebagai katalis katalisator substrat di dalam industri otomotif dan petroleum, komposisi struktural untuk pesawat ruang angkasa dan pakaian pelindung dari gesekan dan panas atau abrasi dan thermal (Irawati dkk., 2013). Gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) dalam ukuran nano (1-100 nm) merupakan terobosan baru untuk memperoleh material dengan sifat yang berbeda dengan material dalam fase *bulk* terutama dari segi peningkatan kekuatan mekanik dan termal serta luas permukaan yang sangat besar. Sintesis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dapat dilakukan dengan beberapa metode, misalnya proses sol-gel, hidrotermal, *sintering*,

sulphuric acid leaching, dan sebagainya.

Alumina diperoleh melalui tahapan preparasi menggunakan proses *chemical leaching* dengan pelarut asam seperti HCl, H_2SO_4 , dan HNO_3 sebagai *leaching agents* (Ghasemi dan Azizi, 2016; Tantawy dan Alomari, 2019). *Chemical leaching* adalah proses pemisahan logam berat dari abu dasar dengan cara melarutkan logam ke dalam *liquid form*. Logam oksida yang terikat di dalam abu dasar akan berubah menjadi ion logam yang terlepas di dalam larutan asam. Asam sering digunakan pada proses *chemical leaching* untuk melarutkan logam berat (Itam, dkk., 2019). *Leaching process* paling banyak digunakan dalam ekstraksi metalurgi karena prosesnya yang *low-cost*, ramah lingkungan, dan penggunaan energi yang rendah. (Tantawy dan Alomari, 2019).

Penambahan senyawa polietilen glikol (PEG 6000) pada produk hasil ekstraksi bertujuan sebagai template pembentuk pori. PEG 6000 dipilih karena memiliki rantai polimer yang lebih panjang dari PEG 1000 sehingga semakin banyak partikel Al_2O_3 terperangkap dalam rantai Polietilen Glikol, akibatnya pertumbuhan kristal semakin kecil (Irawati dkk., 2013).

Pada penelitian ini preparasi abu dasar batubara bertujuan untuk menurunkan kandungan unsur yang dominan dalam abu dasar batubara seperti Si, Ca, dan Fe dengan menggunakan asam. Penghilangan kandungan unsur tersebut diharapkan meningkatkan kadar Al sebagai unsur penting pada sintesis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

METODE PENELITIAN

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah *furnace*, oven, seperangkat alat refluks, gelas ukur, neraca analitik, pipet ukur, *magnetic stirrer*, corong kaca, kertas saring, gelas kimia, labu ukur, *hot plate*, *pH meter*, pengaduk kaca, spatula, dan cawan.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Bottom Ash*, HCl, H_2SO_4 , Polyethylene Glycol (PEG) 6000, NH_4OH , aquades.

Prosedur

Tahapan pertama preparasi abu dasar batubara adalah penghilangan kandungan air permukaan abu dasar melalui pemanasan menggunakan oven pada temperatur 110°C . Selanjutnya sampel abu dasar batubara yang telah kering dikecilkan ukuran dengan cara digerus sampai berukuran 100 mesh. Selanjutnya ditambahkan *aquadest* sebanyak 1,0 L per 200 gram abu dasar sambil

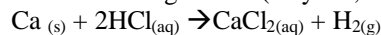
diaduk dengan pengaduk magnet selama 3 jam dengan kecepatan 350 rpm. Pada sampel abu dasar batubara ditetesi larutan H₂O₂ 30%-volum setelah penambahan aquadest sedikit demi sedikit untuk menghilangkan zat organik yang terkandung di dalam abu dasar PLTU-batubara. Pada saat ditetesi dengan larutan H₂O₂ terbentuk gelembung gas dan penambahan larutan H₂O₂ dihentikan setelah tidak terbentuk gelembung gas lagi. Campuran didiamkan selama 12 jam sampai semua sampel abu dasar PLTU-batubara mengendap. Selanjutnya, endapan dicuci menggunakan aquadest sebanyak tiga kali dalam 1,0 L aquadest setiap kali pencucian dengan teknik dekantir untuk menghilangkan sisa H₂O₂. Sampel abu dasar batubara hasil preparasi kemudian dikeringkan pada temperatur 100°C.

Sebanyak 10 gram sampel abu dasar batubara hasil preparasi awal selanjutnya diekstraksi dengan berbagai pelarut asam seperti HCl, H₂SO₄ dan HNO₃ (masing-masing sebanyak 100 mL) pada temperatur 90°C selama 6 (enam) jam. Filtrat hasil ekstraksi ditambahkan Polietilen Glikol (PEG 6000) dengan perbandingan 100 mL filtrate dan 3,7 gram PEG 6000. Kemudian dilakukan penambahan larutan NH₄OH 2,6 M sedikit demi sedikit (sampai pH larutan mencapai 7,5 – 8,0) sambil diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 6 (enam) jam. Selanjutnya padatan dipisahkan dari cairan melalui penyaringan dan kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Produk hasil preparasi akhir abu dasar PLTU-batubara berupa padatan berbentuk serbuk berwarna abu-abu selanjutnya dianalisis menggunakan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) tipe panalytical Epsilon 3 di Laboratorium Kimia Instrumen, Fakultas MIPA Universitas Negeri Padang untuk mengetahui komposisinya.

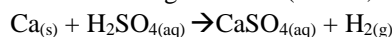
Prediksi reaksi yang mungkin terjadi pada preparasi sampel abu dasar PLTU-batubara diantaranya adalah:

1. Reaksi Al dengan HCl dan selanjutnya dengan NH₄OH (Adans dkk., 2016):
 $2Al(s) + 6HCl(aq) \rightarrow 2AlCl_3(aq) + 3H_2(g)$ (1)
 $AlCl_3(aq) + 3NH_4OH(l) \rightarrow Al(OH)_3(s) + 3NH_4Cl(aq)$(2)
2. Reaksi Al dengan H₂SO₄ dan selanjutnya dengan NH₄OH (Sitompul dkk., 2017):
 $2Al(s) + 3H_2SO_4(aq) \rightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + 3H_2(g)$(3)
 $6NH_4OH(l) + Al_2(SO_4)_3(aq) \rightarrow 3(NH_4)_2SO_4(aq) + 2Al(OH)_3(s)$(4)
3. Reaksi Al dengan HNO₃ dan selanjutnya dengan NH₄OH (Adans dkk., 2016):
 $2Al(s) + 6HNO_3(aq) = 2Al(NO_3)_3(aq) + 3H_2(g)$ (5)
 $Al(NO_3)_3(aq) + 3NH_4OH(l) \rightarrow Al(OH)_3(aq) + 3NH_4NO_3(l)$(6)

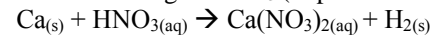
4. Reaksi Ca dengan HCl (Royani., 2016):



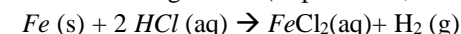
5. Reaksi Ca dengan H₂SO₄ (Aidha., 2013):



6. Reaksi Ca dengan HNO₃ (Septiani dkk., 2018):



7. Reaksi Fe dengan HCl (Supiati dkk., 2008):



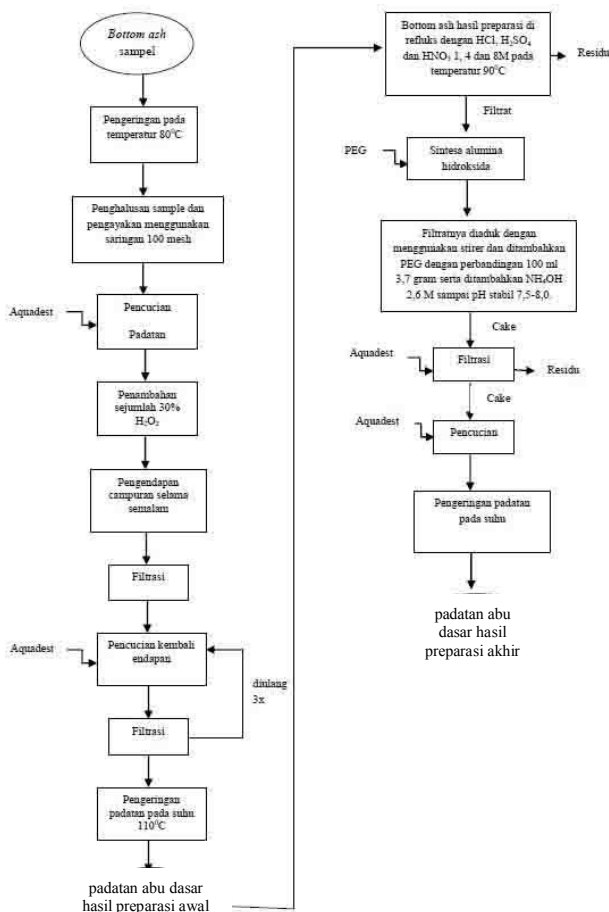
8. Reaksi Fe dengan H₂SO₄ (Syarif dan Andiyani, 2008)



9. Reaksi Fe dengan HNO₃ (Syarif dan Andiyani, 2008)



Prosedur preparasi abu dasar pada penelitian ini secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Prosedur preparasi abu dasar dengan pelarut asam

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) abu dasar PLTU-batubara setelah dipreparasi dengan pelarut asam ditampilkan pada Tabel 1 s.d Tabel 3 berikut ini.

Tabel 1 Hasil analisis XRF abu dasar setelah preparasi menggunakan pelarut HCl

Unsur	Abu dasar setelah dipreparasi dengan (%-berat)		
	HCl 1 M	HCl 4 M	HCl 8 M
Mg	1,393	2,076	1,752
Al	18,076	37,89	30,715
Si	16,249	1,019	0,881
P	2,919	1,942	1,389
K	0,015	0	0,014
Ca	11,908	1,822	1,595
Ti	0,801	1,582	1,452
Mn	0,251	0,346	0,3
Fe	26,058	46,307	37,791
Zn	0,051	0,105	0,098
Sr	0,416	0,048	0,037
Ag	0,879	0,854	0,87
Eu	0,178	0,365	0,317
Cl	19,976	4,229	21,39
S	0	0	0
lain-lain	0,83	1,415	1,399
Total	100	100	100

Tabel 2 Hasil analisis XRF abu dasar setelah preparasi menggunakan pelarut H₂SO₄

Unsur	Abu dasar setelah dipreparasi dengan (%-berat)		
	H ₂ SO ₄ 1 M	H ₂ SO ₄ 4 M	H ₂ SO ₄ 8 M
Mg	0,96	2,223	1,017
Al	30,164	17,447	25,646
Si	20,829	0,705	0,252
P	1,732	1,882	1,407
K	0,016	0	0
Ca	1,377	1,388	0,375
Ti	1,199	2,297	1,775
Mn	0,235	0,435	0,203
Fe	31,216	62,001	39,342
Zn	0,095	0,348	0,159
Sr	0,055	0,06	0,012
Ag	0,975	0,889	0,879
Eu	0,258	0,404	0,25
Cl	0	0	0
S	10,629	9,084	28,273
lain-lain	0,26	0,837	0,41
Total	100	100	100

Tabel 3 Hasil analisis XRF abu dasar setelah preparasi menggunakan pelarut HNO₃

Unsur	Abu dasar setelah dipreparasi dengan (%-berat)		
	HNO ₃ 1 M	HNO ₃ 4 M	HNO ₃ 8 M
Mg	0,189	1,328	2,911
Al	44,988	44,636	25,048
Si	35,265	1,371	1,057
P	3,129	1,989	1,286
K	0,021	0	0,005
Ca	2,831	2,224	3,669
Ti	0,545	1,482	1,576
Mn	0,098	0,377	0,479
Fe	11,102	43,299	61,199
Zn	0,033	0,089	0,173
Sr	0,042	0,051	0,184
Ag	0,49	0,948	0,924
Eu	0,079	0,382	0,476
Cl	0	0	0
S	0	1,297	0
lain-lain	1,188	0,527	1,013
Total	100	100	100

Hasil analisa XRF abu dasar PLTU-batubara sebelum preparasi memperlihatkan bahwa unsur yang dominan adalah aluminium (Al), silika (Si), kalsium (Ca), besi (Fe) dan magnesium (Mg) yang besarnya (dalam %-berat) masing-masing adalah 27,24, 23,27, 16,52, 23,25, dan 3,81, sisanya adalah unsur lainnya seperti phosphour (P), kalium (K), titanium (Ti), mangan (Mn), seng (Zn), perak (Ag), dan lain-lain (5,75).

Komposisi abu dasar PLTU-batubara setelah preparasi menunjukkan tidak terjadi penurunan kadar silika pada konsentrasi asam 1 M. Sedangkan pada konsentrasi pelarut asam yang lebih tinggi (4 dan 8 M) kadar silika mengalami penurunan yang cukup besar dengan persentase pengurangan kadar Si berkisar antara 94 s.d 99,7%-berat awal. Silika mempunyai sifat dengan kelarutan rendah terhadap asam (Anggia dan Suprpto, 2016), sehingga menyebabkan kadar Si berkurang dan banyak terkandung pada *leached residue* (Xiao, dkk., 2015). Semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan maka semakin tidak larut Si dalam asam dan menyebabkan kadar Si berkurang.

Kadar unsur kalsium (Ca) abu dasar PLTU-batubara berkurang setelah dipreparasi dengan pelarut asam. Pelarut H₂SO₄ untuk semua konsentrasi mampu menurunkan kadar Ca pada abu dasar paling besar dibandingkan pelarut asam HCl dan HNO₃ yaitu lebih dari 90%-berat. Bahkan H₂SO₄ konsentrasi 8 M mampu mengurangi kadar Ca sebanyak 97,73%-berat. HNO₃ mampu mengurangi kadar Ca cukup baik dengan presentase penurunan lebih dari 70%-berat. Pada HCl 1 M, kadar Ca hanya turun sebesar 27,89%-berat awal.

Kadar Ca memiliki kecenderungan semakin berkurang dengan meningkatnya konsentrasi HCl 4 M dan 8 M, masing-masing mampu mengurangi kadar Ca sebanyak 88,96% dan 90,36%-berat.

Pada saat proses ekstraksi-leaching menggunakan pelarut asam terjadi perubahan warna pada larutan asam dari bening menjadi kuning lemon bening. Hal ini menunjukkan terjadi reaksi antara asam dan Al (Adans, dkk., 2016 dan Sitompul dkk., 2017). Al merupakan unsur yang diharapkan banyak terekstraksi dari penelitian ini karena unsur ini merupakan bahan baku untuk sintesis γ -Al₂O₃. Berdasarkan hasil analisa XRF, Al paling banyak larut dalam HNO₃ 1 M dan 4 M dengan peningkatan kadar Al pada abu dasar setelah preparasi masing-masing sebesar 65,14% dan 63,84%-berat. HCl 4 M juga merupakan asam yang cukup baik mampu melarutkan Al pada abu dasar dengan penambahan kadar Al sebanyak 39,08%-berat. Sedangkan H₂SO₄ pada penelitian ini merupakan asam yang paling sedikit melarutkan Al pada abu dasar. Penambahan kadar Al terbanyak ketika menggunakan pelarut H₂SO₄ 1 M yaitu sebesar 10,72%. Persentase penambahan kadar Al memiliki kecenderungan turun pada konsentrasi asam yang lebih pekat. Hal ini dikarenakan ketersediaan air yang lebih sedikit dalam asam yang lebih pekat sehingga transfer massa selama proses leaching berkurang (Zhu, dkk., 2015).

Fe merupakan unsur yang kadarnya meningkat setelah di preparasi. Secara umum berdasarkan hasil analisa kadar Fe yang meningkat berbanding lurus dengan konsentrasi asam yang digunakan. Pelarut HCl meningkatkan kadar Fe dengan rentang penambahan 12,1% - 99,1 % berat. Pelarut H₂SO₄ dengan konsentrasi 4 M mampu meningkatkan kadar Fe lebih dari 100%. HNO₃ merupakan pelarut yang mampu meningkatkan kadar Fe sebanding dengan peningkatan konsentrasinya. Kelarutan besi dalam air dipengaruhi oleh tingkat keasaman. Besi larut dalam asam dan mengendap pada basa (Gelyaman, 2018).

Pelarut HCl berdasarkan penelitian ini cukup baik dalam menurunkan kadar Si. Sedangkan H₂SO₄ baik digunakan untuk menurunkan kadar Ca. Pelarut HNO₃ mempunyai peran yang cukup baik dalam meningkatkan kadar Al akan tetapi peningkatan kadar Al ini juga diikuti oleh meningkatnya kadar Fe. Penurunan kadar Si dan Ca dalam campuran secara neraca otomatis menyebabkan peningkatan unsur Al dan Fe. Diharapkan pada penelitian ini adalah kadar Fe juga turun seperti Si dan Ca agar secara neraca % berat Al juga meningkat untuk diproses menjadi gamma alumina dengan kemurnian yang baik. Si dengan sifatnya yang tidak mudah larut dalam asam, maka Si banyak terdapat pada residu daripada filtrat.

Unsur Al dan Fe seperti yang disebutkan sebelumnya

memiliki sifat mudah larut dalam asam, Al dan Fe banyak terikat pada filtrat. Al pada filtrat ini diharapkan banyak terikat pada asam. Filtrat inilah yang akan diproses untuk menjadi gamma alumina. Penambahan NH₄OH pada filtrat yang telah disaring menyebabkan terjadi perubahan warna menjadi coklat pekat dan terbentuk endapan, hal ini menunjukkan kemungkinan terjadi reaksi pembentukan Al(OH)₃ (Irawati, dkk., 2013). Selanjutnya Al(OH)₃ disintesis menjadi γ -Al₂O₃ melalui proses kalsinasi (Adans dkk., 2016).

KESIMPULAN

1. Preparasi abu dasar (*bottom ash*) PLTU-batubara menggunakan pelarut asam seperti HCl, H₂SO₄ dan HNO₃ mampu menurunkan kandungan kalsium dalam abu dasar PLTU-batubara dengan rata-rata penurunan Ca mencapai 70%-90%.
2. Penurunan kadar Si pada abu dasar PLTU-batubara tidak dipengaruhi oleh jenis asam, namun lebih dipengaruhi oleh konsentrasi pelarut asam yang digunakan.
3. Pada pelarut HCl dan H₂SO₄, konsentrasi 4 M merupakan asam yang mampu mengurangi silika dari abu dasar PLTU-batubara 94, 11% - 96,97% berat. Konsentrasi HNO₃ dan H₂SO₄ 8 M mampu mengurangi kadar Si sebanyak 95,46% - 98,9%.
4. Peningkatan terbesar kadar Al terjadi pada preparasi abu dasar PLTU-batubara dengan pelarut HNO₃ 1 M dan 4 M, dengan % peningkatan kadar Al dari berat awal masing-masing mencapai 65,14% dan 63,84%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui skema penelitian hibah unggulan kompetitif Universitas Sriwijaya dana PNPB Unsri Tahun anggaran 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Adans, Y.F., Martins, A.R., Coelho, R.E., dan Das Virgens, C.F. (2016). A Simple Way to Produce γ -Alumina Cans by Precipitation Reactions. *Materials Research*. 19(5) : 977-982. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0310>.
- Aidha, N.N. (2013). Aktivasi Zeolit Secara Fisika dan Kimia untuk Menurunkan Kadar Kesadahan (Ca dan Mg) dalam Air Tanah. *Jurnal Kimia Kemasan*. 35 (1), 58 – 64.
- Anggia, D.M., dan Suprpto. (2016). Pemurnian Silika pada Abu Layang dari Pembangkit Listrik di Paiton

- (PT YTL) dengan Pelarutan Asam Klorida dan Aqua Regia. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5 (2), 2337-3520.
- Gelyaman, G.D. (2018). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Bioavalabilitas Besi bagi Tumbuhan. *Jurnal Saintek Lahan Kering*. (1), 14-16.
- Ghasemi, S.M.S., dan Azizi, A. (2016). Investigation Of Leaching Kinetics Of Zinc From A Low-Grade Ore In Organic And Inorganic Acids. *Journal of Mining and Environment*. 8 (4): 579-591.
- Irawati, U., Sunardi, dan Suraida. (2013). Sintesis Dan Karakterisasi Gamma Alumina (γ -Al₂O₃) dari Kaolin Asal Tatakan, Kalimantan Selatan Berdasarkan Variasi Temperatur Kalsinasi. *Molekuk*, 8 (1), 31-42. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2013.8.1.123>.
- Itam, Z., Beddu, S., Mohammad, D., Kamal, N.L.M., Zainoodin, M.M., Syamsir, A., Razak, N.A., dan Hamid, Z.A.A. (2019). Extraction of Metal Oxides from Coal Bottom Ash by Carbon Reduction and Chemical Leaching. *Materials Today : Proceedings*, 17, 727-735.
- Jayaranjan, M.L.D., Annachhatre, A.P., dan Hullebusch, E.D. (2014). Reuse Options for Coal Fired Power Plant Bottom Ash and Fly Ash. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*.
- Ramme, B., dan Tharaniyil, M. (2013): *Coal Combustion Product Utilization Handbook*, We Energies Publication, Wisconsin-USA.
- Rashidi, N.A., dan Yusuf, S. (2016): An Overview on The Potential of Coal Based Bottom Ash as Low-Cost Adsorbents, *Journal of ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4 (4), 1870-1884.
- Royani, A. (2016). Proses Pelarutan Bijih Dolomit dalam Larutan Asam Klorida. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*.
- Septiani, M., Kurniawan, S., dan Rafdi, A.M. (2018). Efektivitas Asam Nitrat (HNO₃) sebagai Pelarut Alternatif pada Proses Acid Wash terhadap Plate Electrolyzer di PT Kaltim Nitrate Indonesia. *Journal of Chemical Process Engineering*. 2655-2957
- Sitompul, L.R., Yenie, E., dan Elystia. S. (2017). Pemanfaatan Logam (Al) pada Kaleng Minuman Soda Menjadi Tawas. *Jurnal Fakultas Teknik Riau*. 4 (1).
- Supiati, Yudi, M., dan Chadijah, S. (2013). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Asam Klorida (HCl) terhadap Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Durian pada Zat Warna Methanil Yellow. *Al Kimia*. 1 (1), 53-63.
- Syarif, T., dan Andiyani, Y. (2008). Pemodelan Matematis Reaksi Oksidasi Katalitik Fero Sulfat menjadi Feri Sulfat. *Jurnal Rekayasa Proses*. 2(2).
- Tantawy, M.A., dan Alomari., A.A. (2019). Extraction Of Alumina From Nawan Kaolin by Acid Leaching. *Oriental Journal Of Chemistry*. 35 (3), 1013-1021.
- Xiao, J., Li, F., Zhong, Q., Bao, H., Wang, B., Huang, J., dan Zhang, Y. (2015). Separation of Aluminum and Silica from Coal Gangue By Elevated Temperature Acid Leaching for The Preparation of Alumina and SiC. *Journal of Hydrometallurgy*. 155, 118-124.
- Zhu, P., Dai, H., Han, L., Xu, X., Cheng, L., Wang, Q., dan Shi, Z. (2015). Aluminum Extraction From Coal Fly Ash By A Two-Step Acid Leaching Method.