

# Ekstraksi Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari Mineral Tanah Napa Pesisir Selatan

Arinda Frissherly<sup>1</sup>, Mawardi Mawardi\*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang  
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia

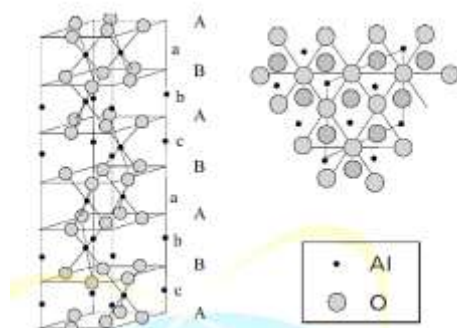
\*mawardianwar@fmipa.unp.ac.id

**Abstract** — Alumina has a wide range of industrial and technical applications and can be extracted from different locations, materials and methods. Napa soil from the Pesisir Selatan has been used as a raw material for alumina production. This alumina extraction process is the result of modifications to several methods including alkali fusion and hydrothermal methods. Napa soil is calcined at  $750^\circ\text{C}$  for 4 hours and washed with hydrochloric acid 1,5 M; 2 M; 2.5 M at  $95^\circ\text{C}$ , followed by alkali fusion by NaOH 10 M so that it is obtained  $\text{Al}(\text{OH})_3$  and converted to  $\text{Al}_2\text{O}_3$  with the calcination of  $1100^\circ\text{C}$ . The extraction results are characterized by XRF technology to understand the content of the analyzed sample. The extraction mass of alumina with different concentrations of HCl 1 M; 1,5 M; 2 M; 2.5 M is continuous 14,171 g; 41,127 g; 31,711 g; and 0 g. The result of XRF analysis of alumina extraction showed that the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content increased by 68.42%.

**Keywords** — alumina, napa soil, leaching acid, alkali fusion, hydrothermal

## I. PENDAHULUAN

Sumatera Barat salah satu provinsi yang memiliki potensi bahan alam bijih logam yang melimpah. Salah satu mineral yang menarik perhatian peneliti adalah bijih besi yang didalamnya terkandung alumina. Alumina merupakan mineral industri yang penting, digunakan sebagai katalis, abrasif dan sebagai penyerapan [1][2][3]. Alumina terbagi 2 bentuk yakni stabil ( $\alpha$  - alumina) dan metastabil ( $\gamma$ -,  $\eta$ -,  $\delta$ -,  $\theta$ -,  $\kappa$ -,  $\chi$ - alumina) [4][5].  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki struktur heksagonal yang terbentuk pada suhu  $1000 - 1100^\circ\text{C}$ . Kestabilan sifat  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  menjadikan alumina ini memiliki kekuatan dan kekerasan yang sangat tinggi serta banyak dijadikan sebagai bahan – bahan kimia, peralatan rumah tangga dan properti industri [6].



Gambar 1. Struktur kristal  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  [7]

Alumina terjadi secara alami murni dalam bentuk mineral korundum, meskipun dalam material alam juga banyak terdapat alumina adalah tanah napa. Tanah napa merupakan

batuan alam yang dipergunakan masyarakat sebagai obat diare dan sakit perut. Selain itu, kandungan yang dominan di dalam tanah napa ini adalah alumina dengan persentase 41,52 % [8].

Tanah napa atau dikenal dengan Batu Napa yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Kabupaten Pesisir Selatan. Tanah napa yang diambil dari kabupaten pesisir selatan memiliki kandungan alumina yang lebih banyak dibandingkan kabupaten lainnya yang berada di Sumatera Barat. Dapat dilampirkan secara berturut – turut kandungan alumina di berbagai kabupaten di Sumatera Barat yaitu Kabupaten Pesisir Selatan (31,94 %), Kabupaten Tanah Datar (24,99), Kec. Situjuh Kab. 50 Kota (21,24 %), Kabupaten Solok (20,52 %) dan Kec. Sarilamak Kab. 50 Kota (19,42 %) [9].

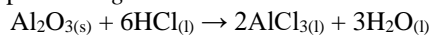
Tanah napa dapat menghasilkan alumina melalui proses ekstraksi yang diikuti suatu metode. Proses ekstraksi dengan tingkat efisiensi tinggi serta masih banyak digunakan hingga sekarang yaitu ekstraksi padat – cair. Ekstraksi padat – cair (ekstraksi *leaching*) merupakan proses pemisahan zat terlarut dalam suatu padatan dengan melarutkannya di dalam suatu pelarut yang berbentuk cairan sehingga terjadi pemisahan zat terlarut dari padatannya [10]. Diharapkan dengan ekstraksi padat – cair yang dilakukan terhadap tanah napa mampu menghasilkan aluminium dalam bentuk oksida atau disebut juga sebagai alumina.

Proses ekstraksi alumina dari tanah napa dilakukan modifikasi agar hasil menjadi lebih maksimal. Dimana ekstraksi alumina harus melalui 3 tahapan, diantaranya leaching acid (pencucian asam), alkali fusi, dan hidrotermal. (1) Pencucian asam digunakan asam klorida (HCl) untuk

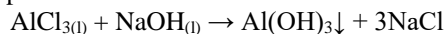
mengekstrak alumina dari tanah napa yang telah dikalsinasi pada suhu 750°C selama 4 jam [11], digunakan pelarut asam diharapkan mampu memutus ikatan hidrogen menggunakan pelarut polar sehingga memperluas pori-pori antara lapisan alumina dan memudahkan asam bereaksi dengan permukaan alumina, (2) alkali fusi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) yang menyebabkan unsur – unsur seperti Ti, Fe, Ca dan oksida – oksida lainnya dapat dipisahkan dari Al menggunakan proses filtrasi dan memperoleh endapan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , dan (3) hidrotermal merupakan metode pembuatan kristal yang bergantung pada suhu tinggi yang dilakukan terhadap  $\text{Al}(\text{OH})_3$  untuk memperoleh  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [12]. Metode hidrotermal yang digunakan untuk memulihkan alumina dari pengotor lainnya serta dianggap lebih menjanjikan terhadap hasilnya [13].

Persamaan reaksi dari tiga tahapan ekstraksi alumina yang dilakukan yaitu :

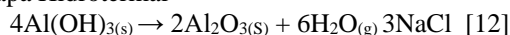
1) Tahap *Leaching Acid*



2) Tahap Alkali Fusi



3) Tahap Hidrotermal



Alumina dapat diekstraksi menggunakan metode asam [14][15] dan metode alkali [16]. Dengan menggunakan metode asam, alumina dilarutkan dalam asam pada suhu tinggi. Namun, metode asam ini belum digunakan dalam industri karena peralatan tahan asam yang mahal dan harus melakukan pemisahan terhadap oksida besi sebelum melakukan percobaan. Dalam metode alkali, dilakukan proses kalsinasi sehingga memisahkan silica dari alumina [14][17]. Metode alkali relatif lebih baik, namun suhu pengadukan yang tinggi menghabiskan banyak energi.

Pemisahan silica dari alumina secara menyeluruh dapat dicapai dengan metode pencucian asam. Namun, kelemahan utama dari metode ini adalah efisiensi ekstraksi alumina jauh lebih rendah dibandingkan dengan metode alkali. Ekstraksi alumina dari coal fly ash pada konsentrasi asam rendah dan suhu ruangan tidak cocok untuk perolehan alumina yang tinggi. Untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi alumina, berbagai penelitian telah dikembangkan. Pada kondisi optimum proses *leaching acid* dengan suhu 200 – 210°C, pada waktu 80 menit dengan rasio asam : coal fly ash (5:1), mencapai efisiensi ekstraksi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada 87 % [18]. Efisiensi ekstraksi alumina dengan metode *leaching acid* dapat ditingkatkan melalui penambahan kalsium sulfat dalam coal fly ash dan kalsinasi pada suhu tinggi sebelum *leaching acid*, sehingga efisiensi ekstraksi alumina bisa mencapai 99,4 % [19]. Metode *leaching acid* dengan pelarut asam sulfat pada konsentrasi 30 – 50 % yang dilakukan terhadap coal fly ash, meningkatkan efisiensi ekstraksi alumina dari 65,7 % menjadi 82,4 % [20]. Dalam ruang lingkup studi, efisiensi ekstraksi alumina ditingkatkan dengan variasi konsentrasi asam klorida, rasio padat – cair, waktu *leaching acid*, serta suhu *leaching acid*. Melalui analisa dan perhitungan pada kondisi optimal, kondisi yang didapatkan agar efisiensi ekstraksi alumina meningkat adalah konsentrasi HCl 1,5 M; rasio padat – cair

(1:20); waktu 120 menit; serta suhu pada 85°C. Kondisi optimal ini mendapatkan efisiensi ekstraksi alumina pada 90 % [21].

Dalam penelitian ini, metode *leaching acid* serta alkali fusi mampu untuk mengekstrak alumina dari tanah napa, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi alumina dari tanah napa dengan memperhatikan konsentrasi HCl serta suhu reaksi.

## II. METODE PENELITIAN.

### A. Alat

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah crusher merk ME – 100 JAW CRUSHER 5”X8”, ayakan 200 mesh sieve, furnace, oven, magnetix stirrer, timbangan analitik, Ph meter, corong Buchner, cawan porselen, kurs, kaca arloji, gelas kimia 1000 ml, Erlenmeyer 250 dan 400 ml, gelas ukur 10 ml dan 25 ml, labu ukur 100 dan 250 ml, pipet volume, pipet tetes, batang pengaduk, dan spatula. Kemudian dikarakterisasi dengan instrument X – Ray Fluorescence (XRF) Merk Epsilon3 PANalytical, X – Ray Diffraction (XRD) tipe X’Pert PRO Merk PANalytical MPD PW3040/60 dan Fourier Transform Infrared (FTIR) Merk PerkinElmer Frontier.

### B. Bahan

Bahan – bahan yang dipergunakan pada penelitian ini adalah tanah napa dari Kabupaten Pesisir Selatan, asam klorida, natrium hidroksida, aquades dan kertas saring whattman 42.

### C. Preparasi Tanah Napa

Tanah napa dimasukkan ke dalam crusher dan giling selama beberapa menit hingga tanah napa berbentuk bubuk. Dilanjutkan proses pengayakan di ayakan 200 mesh sieve. Sampel yang sudah melewati ayakan akan dikalsinasi di dalam furnace pada suhu 750°C selama 4 jam [11].

### D. Ekstraksi Alumina

#### 1. Leaching acid

Menimbang sebanyak 160 gram sampel yang telah dipreparasi, dan mereaksikan dengan 480 ml HCl pada berbagai konsentrasi dimulai dari 1; 1.5; 2; dan 2,5 M. Pengadukan dengan magnetic stirrer pada suhu 95°C dengan kecepatan 600 rpm selama 2 jam. Dilakukan penyaringan menggunakan corong Buchner diikuti pencucian 4 kali menggunakan 100 ml aquades [12].

#### 2. Alkali fusi

Filtrat pada tahap leaching acid direaksikan dengan natrium hidroksida (NaOH) pada konsentrasi 10 M, diletakkan di atas magnetic stirrer pada kecepatan 600 rpm hingga pH mencapai 6,5. Kemudian dilakukan pendiaman selama 18 jam dan selanjutnya dilakukan penyaringan sehingga didapatkan produk  $\text{Al}(\text{OH})_3$  [12][22].

#### 3. Hidrotermal

$\text{Al}(\text{OH})_3$  dioven pada suhu 110°C selama 2 jam, dan dilanjutkan kalsinasi di dalam furnace pada suhu 1100°C selama 2 jam. Diperoleh aluminium oksida

atau disebut juga alumina dengan visual bubuk berwarna putih susu [12].

E. Karakterisasi Alumina

Alumina yang telah diperoleh melalui proses ekstraksi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRF untuk mengetahui kandungan oksida – oksida pada sampel yang dianalisa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi alumina dari mineral tanah napa Pesisir Selatan menggunakan ekstraksi *leaching acid* dengan asam klorida encer dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu preparasi tanah napa Pesisir Selatan, dan tahap kedua yaitu ekstraksi *leaching acid*. Pada tahap pertama, tanah napa dipreparasi dengan dilakukan penggerusan dan dilanjutkan kalsinasi. Tujuan penggerusan dilakukan untuk mengubah fisik tanah napa dari bongkahan menjadi serbuk halus dengan kehalusan 70 µm [23]. Sedangkan kalsinasi tanah napa bertujuan untuk mengubah struktur tanah napa menjadi amorf sehingga luas permukaan serbuk dari material tanah napa menjadi besar dan berdampak pada peningkatan kelarutan Al oleh asam klorida yang digunakan [12].

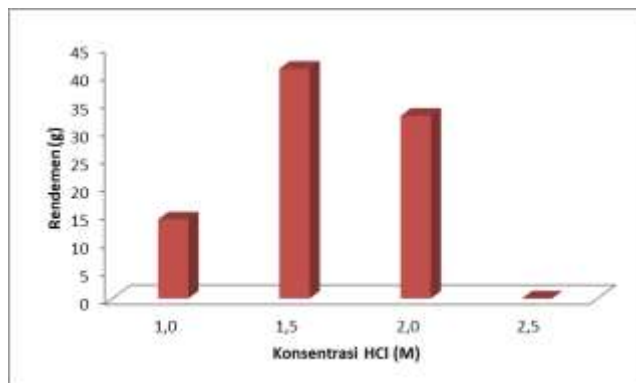
A. Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Rendemen

Perbandingan berat rendemen alumina yang dihasilkan melalui proses ekstraksi menggunakan asam klorida bervariasi ditunjukkan oleh tabel 1.

TABEL 1. PENGARUH KONSENTRASI HCl TERHADAP RENDEMEN

Berat rendemen (g)	Konsentrasi HCl (M)			
	1,0	1,5	2,0	2,5
	14,171	41,127	32,711	0

Hubungan konsentrasi dengan rendemen alumina secara kuantitatif dapat diketahui dari hasil perhitungan data penelitian. Variasi konsentrasi asam klorida yang ditentukan pada penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam klorida, maka berat rendemen alumina yang dihasilkan semakin besar. Semakin tinggi konsentrasi asam klorida maka ion H<sup>+</sup> yang terkandung semakin banyak sehingga atom Al juga semakin banyak larut. Asam klorida merupakan asam biner dengan proton yang terikat secara langsung dengan atom pusat sehingga memudahkan terjadinya ionisasi secara sempurna. Ionisasi yang terjadi pada HCl mengakibatkan ion H<sup>+</sup> yang dihasilkan menimbulkan banyaknya rendemen alumina yang dihasilkan. Disajikan grafik pengaruh konsentrasi HCl terhadap rendemen yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Rendemen

Kondisi percobaan tetap adalah pengaturan suhu kalsinasi 700°C, waktu kalsinasi 4 jam, kecepatan pengadukan 600 rpm, waktu pengadukan 2 jam, lama pencucian asam 4 kali per 10 ml aquades, dan konsentrasi NaOH 10 M yang digunakan. Penelitian ini melakukan 4 faktor tunggal analisa konsentrasi HCl bervariasi 1,0; 1,5; 2,0; dan 2,5 M. Hasil pengaruh konsentrasi HCl yang bervariasi pada massa ekstrak alumina yang didapatkan bisa ditunjukkan pada gambar 2. Ini menunjukkan bahwa massa ekstraksi alumina meningkat dengan meningkatnya konsentrasi HCl, namun akan melambat pada konsentrasi tertentu. Pada konsentrasi HCl 1,5 M, massa ekstraksi alumina mencapai titik maksimum yakni 41,127 gram. Namun setelah konsentrasi melebihi 1,5 M, massa semakin menurun dan bahkan tidak mendapatkan hasil pada konsentrasi HCl 2,5 M. Hal ini disebabkan terjadinya pembentukan oksida-oksida selain Al sehingga menghambat jalannya proses ekstraksi dan massa ekstraksi yang dihasilkan tidak tercapai. Gambar 2 menunjukkan pada konsentrasi HCl 1,5 M tercapai puncak maksimum dengan persentase ekstraksi 82,50 %.

Massa rendemen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> semakin bertambah seiring dengan meningkatnya konsentrasi HCl. Peningkatan konsentrasi HCl akan menyebabkan gerakan molekulnya semakin cepat. Kenaikan gerakan molekul HCl akan menyebabkan ion H<sup>+</sup> di dalamnya mengikat Al lebih banyak. Selain itu, pori – pori sampel yang mengembang akibat kalsinasi, memudahkan HCl berdifusi masuk ke dalam partikel sampel [12] [24].

B. Karakterisasi X – Ray Fluorescence

Perbandingan komposisi mineral oksida antara sebelum dan sesudah ekstraksi alumina ditunjukkan oleh tabel 2.

TABEL 2. PERBANDINGAN KOMPOSISI MINERAL ANTARA SEBELUM DAN SESUDAH EKSTRAKSI ALUMINA

Sampel	Kadar (%)				
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
S1	28,78	59,38	3,96	0,37	1,08
S2	31,16	62,70	4,04	0,24	1,14
S3	68,42	0	1,51	1,94	3,08

Keterangan :

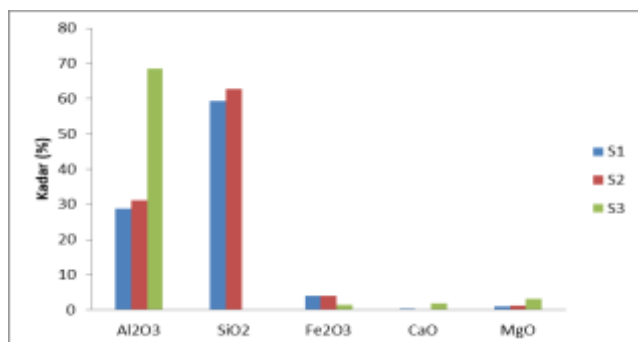
S1 = Tanah Napa sebelum kalsinasi

S2 = Tanah Napa setelah kalsinasi

S3 = Tanah Napa setelah ekstraksi (alumina)

Dapat dilihat dari tabel 2. bahwa setelah kalsinasi kadar  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  mengalami peningkatan, sedangkan kadar  $CaO$  menurun setelah kalsinasi. Pada proses ekstraksi alumina, kadar  $Al_2O_3$  meningkat sedangkan kadar  $SiO_2$  menghilang.

Berikut disajikan grafik perbandingan komposisi mineral sebelum dan sesudah ekstraksi alumina.



Gambar 3. Perbandingan Komposisi Mineral Sebelum dan Sesudah Ekstraksi Alumina

Dari hasil analisa dengan metode uji XRF pada tabel 2, menunjukkan bahwa sampel S3 (alumina hasil ekstrak) mengandung kadar  $Al_2O_3$  yang cukup besar yaitu 68,42 %, sedangkan  $SiO_2$  telah kehilangan kadarnya. Dengan hilangnya kadar  $SiO_2$ , maka disimpulkan bahwa penelitian ini telah berhasil mengambil dan memisahkan alumina dari kandungan – kandungan lainnya khususnya mineral  $SiO_2$ . Kadar alumina mengalami peningkatan disebabkan oleh pengotor- pengotor seperti silika yang tidak larut bersamaan pada proses *leaching acid* sehingga pengotor silika ini tertinggal dalam residu.

Merujuk pada tabel 2 dan gambar 3 menyatakan bahwa mineral pengotor selain Al yang terkandung dalam ekstraksi alumina mengalami penurunan disebabkan ketika dilakukan pencucian asam 4 kali per 100 ml, mineral seperti Si, Fe, Ca, Mg, dan pengotor lainnya tetap tertinggal di dalam residu. Selain factor pencucian asam, penggunaan pelarut asam klorida juga mampu membebaskan dari pengotor – pengotor lainnya terutama Si yang kandungannya cukup besar.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang diperoleh menyatakan bahwa ekstraksi alumina dari tanah napa Pesisir Selatan menggunakan metode *leaching acid – alkali fusi – hidrotermal* berhasil dilakukan yang dipengaruhi oleh konsentrasi HCl. Peningkatan konsentrasi HCl juga meningkatkan massa rendemen alumina yang dihasilkan. Pembuktian keberhasilan ekstraksi alumina diperlihatkan pada analisa karakterisasi XRF yang dibandingkan antara tanah napa sebelum kalsinasi, tanah napa setelah kalsinasi dan tanah napa setelah ekstraksi. Analisa karakterisasi XRF menyatakan kandungan alumina mengalami peningkatan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terlaksananya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang yang telah menyediakan fasilitas laboratorium untuk

melakukan pengujian. Selanjutnya, ucapan terima kasih kepada Bapak/Ibu beserta tenaga akademik maupun non akademik Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas bimbingan, saran – saran serta nasihat yang diberikan kepada penulis.

#### REFERENSI

- [1] G. Li, W. Li, M. Zhang, and K. Tao, "Characterization and Catalytic Application of Homogeneous Nano-Composite Oxides  $ZrO_2-Al_2O_3$ ," *Catal. Today*, vol. 93–95, pp. 595–601, 2004.
- [2] A. Afkhami, M. Saber-Tehrani, and H. Bagheri, "Simultaneous Removal of Heavy-Metal Ions in Wastewater Samples using Nano-Alumina Modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine," *J. Hazard. Mater.*, vol. 181, no. 1–3, pp. 836–844, 2010.
- [3] N. Salahudeen, A. S. Ahmed, A. H. Al-Muhtaseb, M. Dauda, S. M. Waziri, and B. Y. Jibril, "Synthesis of Gamma Alumina from Kankara Kaolin using A Novel Technique," *Appl. Clay Sci.*, vol. 105–106, pp. 170–177, Mar. 2015.
- [4] S. Wang, X. Li, S. Wang, Y. Li, and Y. Zhai, "Synthesis of Gamma-Alumina via Precipitation in Ethanol," *Mater. Lett.*, vol. 62, no. 20, pp. 3552–3554, Jul. 2008.
- [5] Y. Wang, J. Wang, M. Shen, and W. Wang, "Synthesis and Properties of Thermostable  $\gamma$ -Alumina Prepared by Hydrolysis of Phosphide A luminum," *J. Alloys Compd.*, vol. 467, no. 1–2, pp. 405–412, Jan. 2009.
- [6] X. Jin, L. Gao, and J. Sun, "Highly Transparent Alumina Spark Plasma Sintered From Common-Grade Commercial Powder: The Effect of Powder Treatment," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 93, no. 5, pp. 1232–1236, 2010.
- [7] T. Shirai, "Structural Properties and Surface Characteristics of Aluminum Oxide Powders," vol. 9, pp. 23–31, 2009.
- [8] M. Mawardi, D. Deyundha, R. Zainul, and P. R. Zalmi, "Characterization of PCC Cement by Addition of Napa Soil from Subdistrict Sarilamak 50 Kota District as Alternative Additional Material for Semen Padang," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 335, no. 1, 2018.
- [9] M. Mawardi, H. Sanjaya, and R. Zainul, "Characterization of Napa Soil and Adsorption of Pb (II) from Aqueous Solutions Using on Column Method," *J. Chem. Pharm. Res.*, vol. 7, no. 12, pp. 905–912, 2018.
- [10] W. L. McCabe, *Operasi Teknik Kimia Jilid 2*. Jakarta: Erlangga, 1993.
- [11] V. Nilmania, "Pengaruh Rasio  $Na_2SiO_3/NaOH$  Sebagai Alkali Aktivator Terhadap Karakteristik Semen Geopolimer Berbasis Tanah Napa," Universitas Negeri Padang, 2021.
- [12] A. H. Ali and M. H. Al-taie, "The Extraction of Alumina from Kaolin," *Eng. Technol. J.*, vol. 37, no. 4, pp. 133–139, 2019.
- [13] R. Zhang, S. Zheng, S. Ma, and Y. Zhang, "Recovery of Alumina and Alkali in Bayer Red Mud by The Formation of Andradite-Grossular Hydrogarnet in Hydrothermal Process," *J. Hazard. Mater.*, vol. 189, no. 3, pp. 827–835, May 2011.
- [14] G. Bai, W. Teng, X. Wang, H. Zhang, and P. Xu, "Processing and Kinetics Studies on The Alumina Enrichment of Coal Fly Ash by Fractionating Silicon Dioxide As Nano Particles," *Fuel Process. Technol.*, vol. 91, no. 2, pp. 175–184, 2010.
- [15] A. Shemi, S. Ndlovu, V. Sibanda, and L. D. Van Dyk, "Extraction of alumina from coal fly ash using an acid leach-sinter-acid leach technique," *Hydrometallurgy*, vol. 157, pp. 348–355, Oct. 2015.
- [16] H. Li, J. Hui, C. Wang, W. Bao, and Z. Sun, "Extraction of Alumina from Coal Fly Ash by Mixed-Alkaline Hydrothermal Method," *Hydrometallurgy*, vol. 147–148, no. April 2019, pp. 183–187, 2014.
- [17] J. Sun and P. Chen, "Resourcing Utilization of High Alumina Fly Ash," *Adv. Mater. Res.*, vol. 652–654, pp. 2570–2575, 2013.
- [18] L. S. Li, Y. S. Wu, Y. Y. Liu, and Y. C. Zhai, "Extraction of Alumina From Coal Fly Ash with Sulfuric Acid Leaching Method," *Chinese J. Process Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 254–258, 2011.
- [19] R. . Matjie, J. . Bunt, and J. H. P. Van Heerden, "Extraction of Alumina From Coal Fly Ash Generated From a Selected Low Rank Bituminous South African Coal," *Fuel*, vol. 22, no. 2, pp. 23–25,



- 2014.
- [20] C. Wu, H. Yu, and H. Zhang, "Extraction of Aluminum by Pressure Acid-Leaching Method From Coal Fly Ash," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 22, no. 9, pp. 2282–2288, 2012.
- [21] Y. Zong, F. Li, W. Chen, and Z. Liu, "Extraction of Alumina from High-Alumina Coal Ash using an Alkaline Hydrothermal Method," *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 7, 2019.
- [22] M. A. Tantawy and A. Ali Alomari, "Extraction of Alumina from Nawan Kaolin by Acid Leaching," *Orient. J. Chem.*, vol. 35, no. 3, pp. 1013–1021, 2019.
- [23] A. . Alzahrani and M. H. . Majid, "Extraction of Alumina from Local Clays by Hydrochloric Acid Process," vol. 20, no. 2, pp. 29–41, 2009.
- [24] W. P. Cheng, C. H. Fu, P. H. Chen, and R. F. Yu, "Dynamics of Aluminum Leaching from Water Purification Sludge," *J. Hazard. Mater.*, vol. 217–218, pp. 149–155, May 2012.