

SINTESIS SILIKA DARI ABU TERBANG (*Fly Ash*) BATUBARA PT YTL PAITON SECARA BATCH

Nadya Rizkita¹, Diana Novita Sari², Aulia Firda Alfiana³, Theresia Dea Randha Rosalina⁴
Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan^{1,2,3}, Politeknik Negeri Malang⁴
nadya@itsnupasuruan.ac.id, diana@itsnupasuruan.ac.id, alfiana@itsnupasuruan.ac.id,
theresiadea0712@gmail.com

Abstrak

Fly ash sebagai limbah hasil pembakaran batu bara, mengandung silika (SiO_2) dalam jumlah yang dominan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber silika. Sintesa silika dapat dilakukan dengan mereaksikan *fly ash* dengan larutan alkali dan mengendapkan silika dengan larutan asam. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan yaitu jenis reaktan, suhu proses dan rasio massa bahan baku dengan reaktan, dengan tujuan untuk mengetahui yield silika yang dihasilkan. Sintesa silika dilakukan menggunakan NaOH dan KOH 3M dengan variasi suhu (75, 85, 95, 105 °C), rasio mol *fly ash* dengan NaOH (1:10,09; 1:12,61; 1:15,13) dan KOH (1:7,34; 1:9,17; 1:11). Kandungan awal *fly ash* dilakukan analisa XRF serta silika yang dihasilkan dari proses ekstraksi dihitung % yield dan analisa SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa % yield terbesar pada suhu 95°C dan rasio mol 1:15,13 yaitu 105,6% dengan menggunakan larutan NaOH dan rasio bahan baku:reaktan 1:11 sebesar 1,184 gram dengan yield 43,05% dengan menggunakan pelarut KOH, yield yang melebihi 100% disebabkan oleh adanya pengotor yang ikut terambil saat proses pengambilan silika. Hasil silika pada kedua variabel jenis reaktan memiliki ukuran partikel rata-rata 36 -77 nm.

Kata kunci: *fly ash*, silika, ekstraksi, NaOH, KOH

Abstract

Fly ash, as waste from burning coal, contains dominant amounts of silica (SiO_2), so it can be used as a source of silica. Silica synthesis can be done by reacting fly ash with an alkaline solution and precipitating the silica with an acidic solution. In this research, the variables used are the type of reactant, process temperature and the mass ratio of the raw material to the reactant, with the aim of knowing the silica yield produced. Silica synthesis was carried out using 3M NaOH and KOH with variations in temperature (75, 85, 95, 105 °C), mole ratio of fly ash to NaOH (1:10.09; 1:12.61; 1:15.13) and KOH (1:7.34; 1:9.17). The initial fly ash content was carried out by XRF analysis and the silica resulting from the extraction process was calculated by % yield and SEM analysis. The research shows that the highest % yield at a temperature of 95°C and mole ratio of 1:15.13 is 105.6% using NaOH solvent and a raw material: reactant ratio of 1:11 of 1.184 grams with yield of 43.05% using KOH solvent, Yields that exceed 100% are caused by impurities that are taken in during the silica extraction process. The silica results in both reactant type variables have an average particle size of 36 -77 nm.

Keywords : *fly ash*, silica, extraction, NaOH, KOH

Article Info

Received date: June 2024

Resived date: July 2024

Accepted date: July 2024

PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang semakin pesat dengan menggunakan bahan bakar seperti batu bara sebagai sumber energi menyebabkan beberapa permasalahan lingkungan. Secara umum, pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menghasilkan 80% limbah abu terbang (*fly ash*) dan 20% bottom ash. Namun hanya sekitar 20% *fly ash* yang dimanfaatkan sebagai bahan tambahan material atau dimanfaatkan untuk hal lainnya (Ardiansah dkk., 2023). Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2006 limbah abu layang yang dihasilkan mencapai 52,2 ton/hari (Anggia dkk., 2016). Menumpuknya *fly ash* akan menyebabkan dampak buruk terhadap lingkungan sekitar, memanfaatkan limbah *fly ash* sebagai bahan material yang bernilai ekonomi merupakan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Abu layang (*fly ash*) merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit listrik yang umumnya mengandung komponen terbesar yaitu silika (SiO_2) 60 – 70% diikuti Al_2O_3 dan Fe_2O_3 (Anggia dkk., 2016; Caroles, 2019). Keberadaan kandungan silika yang banyak memungkinkan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben (Aigbe dkk., 2021; Aisah dkk., 2018; Nurrohmat dkk., 2023; Purba dkk., 2024). Namun, penggunaan *fly ash* secara langsung sebagai adsorben belum maksimal karena adanya oksida logam lain sebagai pengotor seperti As, Ba, Hg, Cr, Ni, V, Pb, Zn dan Se (Aisah dkk., 2018; Caroles, 2019). Sehingga perlu dilakukan proses ekstraksi untuk meminimalkan pengotor dari *fly ash* dan mendapatkan kandungan silika yang murni sebagai upaya untuk memaksimalkan kerja silika sebagai adsorben.

Pemurnian silika dapat dilakukan dengan metode pencucian menggunakan larutan asam dan diekstraksi dengan metode alkali fusi (Caroles, 2019). Dalam penelitian (Nurrohmat dkk., 2023) silika yang dihasilkan dari proses ekstraksi sebesar 46,4% dengan menggunakan pelarut NaOH dan HCl. Penelitian yang dilakukan (Caroles, 2019) menghasilkan kadar silika yang cukup tinggi yaitu 80,42%.

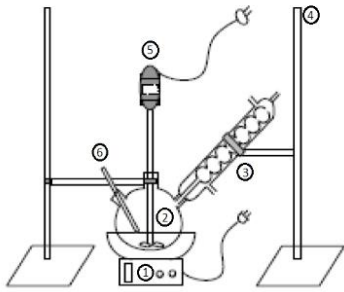
Sebelumnya penelitian dilakukan oleh (Anggia dkk., 2016), pemurnian silika dari *fly ash* PT. YTL Paiton menggunakan pelarut HCl 1 M selama waktu 2,5 jam dihasilkan kadar silika 34,05% serta 68,07% dengan menggunakan pelarut aqua regia. Berdasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini diharapkan menjadi alternatif dalam memanfaatkan *fly ash* yang berpotensi sebagai adsorben dengan melakukan proses ekstraksi silika (Si) yang terkandung dalam *fly ash* limbah batu bara dari PT YTL Paiton dengan menggunakan pelarut asam kuat dan basa kuat. Analisis hasil dilakukan secara kuantitatif menggunakan metode gravimetri dan analisa kualitatif dengan X-Ray Fluorescence (XRF) dan BET/SEM.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN**Bahan**

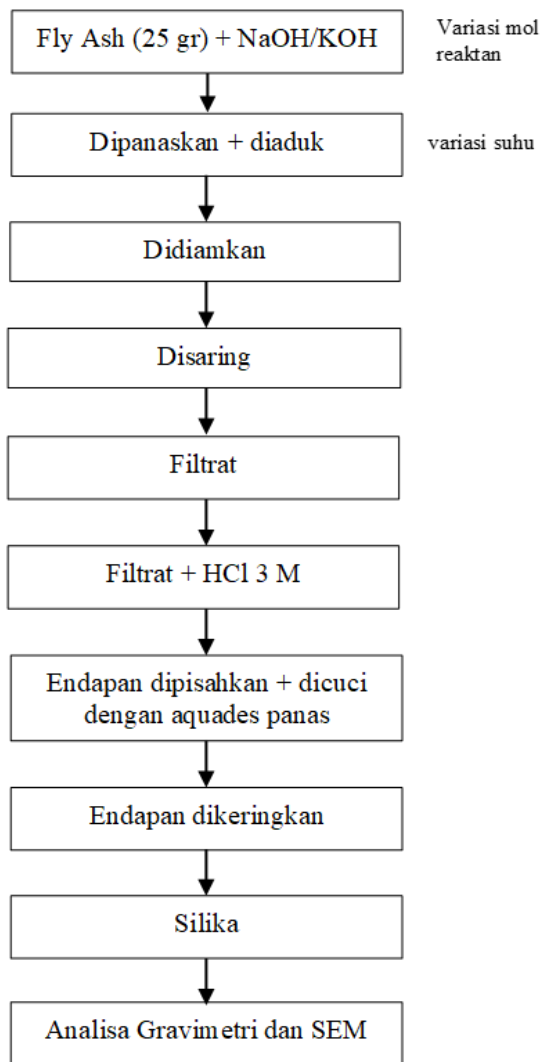
Fly ash diambil dari PT.YTL Paiton- Probolinggo, Indonesia. Natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), Asam klorida (HCl 37%), akuades, asam sulfat (H_2SO_4 98%), asam florida (HF) dan asam nitrat (HNO_3) diperoleh dari Industri kimia Indonesia.

Prosedur Penelitian

Skema proses ekstraksi didesain sesuai dengan gambar 1. Tahapan pelaksanaan penelitian yang dilakukan merujuk pada gambar 2. Pengambilan data dilakukan pada setiap variabel, yaitu jenis pelarut (NaOH dan KOH), suhu proses (75°C, 85 °C, 95°C, 105°C), rasio mol *fly ash* dengan NaOH (1:10,09; 1:12,61; 1:15,13), dan rasio mol *fly ash* dengan KOH (1:7,34; 1:9,17; 1:11). Uji kandungan awal *fly ash* menggunakan XRF yang memberikan data komposisi logam berat yang terkandung. Silka yang dihasilkan dari proses ekstraksi dianalisa menggunakan metode gravimetri serta spesifikasi silika yang dihasilkan dianalisa menggunakan SEM.



Gambar 1. Skema Alat Proses Ekstraksi



Gambar 2. Skema kerja penelitian

Yield

Yield merupakan perbandingan antara massa/mol produk dengan massa/mol bahan awal. Untuk reaktan dan produk tunggal adalah berat/mol

produk akhir dibagi dengan berat/mol reaktan awal, sedangkan untuk reaktan dan produk yang lebih dari satu harus dijelaskan reaktan yang menjadi dasar yield. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut: (Putri dkk., 2019)

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{Berat atau mol produk}}{\text{Berat atau mol reaktan awal}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fly Ash

Analisis X-Ray Fluorescence (XRF) digunakan untuk mengetahui karakteristik oksida logam berat yang terdapat dalam fly ash, hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisa XRF fly ash

No	Komposisi Kimia	Satuan (% wt)	Abu Batubara dari PLTU Paiton
1	SiO ₂	%	11
2	Al ₂ O ₃	%	3,9
3	Fe ₂ O ₃	%	45,1
4	CaO	%	30,1
5	ZnO	%	0,28
6	Cr ₂ O ₃	%	0,1
7	Eu ₂ O ₃	%	0,4
8	CuO	%	0,2
9	K ₂ O	%	1,2
10	TiO ₂	%	1,1
11	NiO	%	1,55
12	V ₂ O ₅	%	0,009
13	MnO	%	0,32
14	SrO	%	0,61
15	MoO ₃	%	2,8
16	BaO	%	0,37
17	Re ₂ O ₇	%	0,2
18	HgO	%	0,33

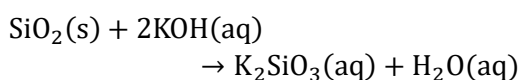
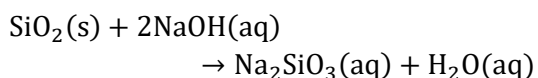
Berdasarkan tabel 1, sampel fly ash teridentifikasi beberapa unsur, yaitu: silika (Si), aluminium (Al), besi (Fe), kalsium (Ca), Seng (Zn), kromium (Cr), europium (Eu), tembaga (Cu), kalium (K), titanium (Ti), nikel (Ni), vanadium (V), mangan (Mn), strontium (Sr), molibdenum (Mo), barium (Ba), renium (Re) dan Raksa (Hg) dengan jumlah konsentrasi yang berbeda-beda. Umumnya, konsentrasi senyawa

logam oksida yang terkandung dalam *fly ash* bervariasi tergantung jenis batu bara yang digunakan saat proses pembakaran dan teknik penyimpanan serta penanganannya (Asof dkk., 2022; Haryanti, t.t.).

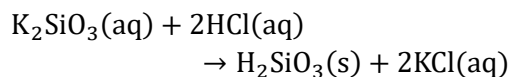
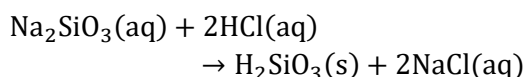
Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan besi (Fe) yang cukup tinggi. Kelimpahan unsur dengan urutan Fe > Ca > Si > Al > Mo > Ni > K > Ti > Sr > Eu > Ba > Hg > Mn > Zn > Cu > Re > Cr > V. Komposisi mineral Oksida dalam *Fly Ash* tergantung pada proses oksidasi yang terjadi sebagaimana terdeteksi dari unsur-unsurnya. Maka mineral oksida yang dominan adalah Fe₂O₃, CaO dan SiO₂ masing-masing dengan konsentrasi 45,1%, 30,1% dan 11%. Hasil analisa mineral oksida juga selaras dengan penelitian (Asof dkk., 2022) yaitu *fly ash* terdiri dari senyawa oksida yaitu SiO₂, Fe₂O₃, alkali tanah dan unsur logam oksida (CaO, Al₂O₃, MgO dan K₂O).

Pengaruh Suhu dan Pelarut Ekstraksi

Proses pengambilan silika dalam *fly ash* disertai dengan pemanasan dan pengadukan yang bertujuan untuk mempercepat laju reaksi dan meningkatkan jumlah silika yang terlarut. Silika yang terlarut akan bereaksi dengan reaktan membentuk larutan alkali silikat (natrium silikat atau kalium silikat). Persamaan reaksi silika dengan NaOH dan KOH adalah sebagai berikut:



Reaksi tersebut menghasilkan natrium silikat (Na₂SiO₃) dan kalium silikat (K₂SiO₃) dalam wujud *liquid* tidak berwarna yang bersifat basa. Pengendapan silika dilakukan dengan penambahan HCl 3 M hingga larutan berada pada pH 6,5 – 7. Reaksi yang terjadi setelah penambahan HCl adanya pertukaran ion Na⁺ pada Na₂Si₃ dengan H⁺ dan K⁺ dengan H⁺ pada K₂SiO₃, dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi ini menghasilkan padatan berwarna putih (H₂SiO₃), yang terbentuk karena kelarutan silika yang rendah. Endapan yang dihasilkan disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades panas untuk menghilangkan NaCl dan KCl. Silika gel yang dihasilkan dikeringkan didalam oven pada suhu 110^oC selama 4 jam, sehingga diperoleh silika dalam bentuk serbuk. Persamaan reaksi saat pengeringan yaitu:



Hasil penelitian berupa massa, pH serta yield dan konversi dengan menggunakan pelarut NaOH dan KOH disajikan pada tabel 2 – 5.

Tabel 2 Massa hasil ekstraksi dengan pelarut NaOH

Suhu (°C)	Rasio mol <i>fly ash</i> dengan larutan					
	1:10,09		1:12,61		1:15,13	
	Massa(g)	pH	Massa(g)	pH	Massa(g)	pH
75	0,536	7,5	1,568	7,3	0,667	6,8
85	0,69	6,8	1,550	6,9	0,882	6,7
95	1,093	6,9	1,828	7,1	2,904	6,9
105	0,994	7,1	1,410	6,8	1,380	6,9

Tabel 3 Yield (%) yang dihasilkan dengan pelarut NaOH

Suhu (°C)	Rasio mol <i>fly ash</i> dengan larutan		
	1:10,09	1:12,61	1:15,13
75	19,49	57,02	24,25
85	25,09	56,36	32,07
95	39,75	66,47	105,6
105	36,15	51,25	50,18

Berdasarkan hasil XRF, kandungan silika pada *fly ash* sebanyak 11% sehingga dalam 25 gram *fly ash* jika silika terekstrak semua maka akan diperoleh silika sebanyak 2,75 gram. Jika rasio reaktan bahan baku besar maka akan memperbesar jumlah senyawa yang bereaksi, sehingga laju reaksi akan semakin meningkat. Suatu reaksi kimia dilaksanakan pada kondisi salah satu reaktan berlebih untuk meningkatkan laju difusi larutan dari bulk cairan ke dalam pori padatan dan menghasilkan tumbukan reaksi antara reaktan yang lebih besar (Mastuti, 2012).

Namun jumlah silika pada tabel 2 yang dihasilkan pada perbandingan 1: 15,13 lebih sedikit daripada 1:12,61. Hal ini karena pada rasio 1: 15,13 pH pengendapan yang tidak 7, dimana silika akan larut kembali jika pH larutan terlalu asam (Retnosari, 2013). Selain itu, masing-masing garis memuncak pada suhu 95°C dan turun pada 105 °C. Suhu yang tinggi mendukung pemutusan ikatan antara zat terlarut dan matriks sampel karena kelarutan zat terlarut dalam ekstraksi pelarut meningkat seiring bertambahnya suhu (Rizkita dkk., 2023). Namun, penurunan massa pada suhu 105 °C terjadi karena pelarut NaOH tidak hanya bereaksi dengan silika tetapi juga dengan senyawa lain membentuk zeolit NaP1, zeolit A, dan Herschelite yang berlangsung pada suhu 80 – 200 °C (Utama, 2013).

Tabel 3 menjelaskan bahwa semakin besar massa silika yang dihasilkan maka yield yang diperoleh juga semakin besar, karena besarnya yield tergantung pada massa silika yang terambil. Yield paling besar terdapat pada suhu proses 95°C dengan rasio bahan baku:larutan 1:15,13; dengan yield sebesar 105,6%. Yield yang melebihi 100% disebabkan oleh adanya pengotor yang ikut terambil saat proses pengambilan silika. Selain menggunakan larutan NaOH, larutan KOH juga digunakan dalam penelitian ini, dengan tujuan untuk membandingkan hasil silika dengan larutan NaOH. Data hasil penelitian menggunakan pelarut KOH disajikan pada tabel 4 dan 5.

Tabel 4 Massa hasil ekstraksi dengan pelarut KOH

Suhu (°C)	Rasio mol <i>fly ash</i> dengan larutan					
	1:7,34		1:9,17		1:11	
	Massa(g)	pH	Massa(g)	pH	Massa(g)	pH
75	0,474	6,9	0,172	6,9	0,242	6,9
85	0,505	7,3	0,322	6,7	0,6	7,1
95	0,726	6,9	0,685	7	1,184	7,02
105	0,535	7,2	0,468	6,5	0,707	7,3

Tabel 5 Yield (%) yang dihasilkan dengan pelarut KOH

Suhu (°C)	Rasio mol <i>fly ash</i> dengan larutan		
	1:7,34	1:9,17	1:11
75	17,24	6,35	8,8
85	18,36	11,7	21,81

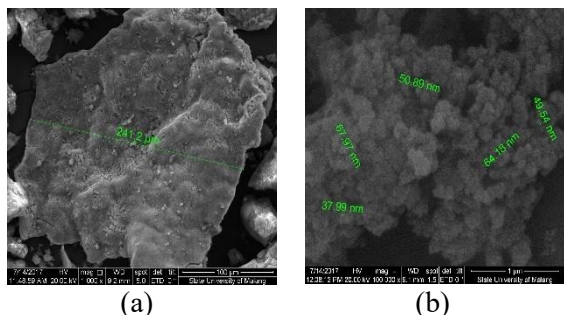
95	26,4	24,9	43,05
105	19,45	17,02	25,71

Berdasarkan tabel 4 massa silika yang terambil lebih sedikit dibandingkan NaOH, karena larutan NaOH memiliki rasio mol yang lebih besar dari pada larutan KOH. Selain itu, KOH yang digunakan memiliki konsentrasi yang rendah yaitu 2,4 M sedangkan konsentrasi NaOH 3 M. Semakin tinggi konsentrasi larutan yang digunakan semakin banyak hasil silika yang diambil (Fadli & Tjahjanto, t.t.). Massa silika yang paling besar dengan larutan KOH yaitu pada suhu proses 95°C dengan rasio bahan baku:reaktan 1:11 sebesar 1,184 gram dengan yield 43,05%.

Massa yang diperoleh selama proses pengambilan terus meningkat hingga suhu 95°C, kemudian turun pada suhu 105°C, baik dengan menggunakan larutan NaOH maupun KOH. Saat proses pengambilan silika dengan menggunakan NaOH atau KOH, terdapat beberapa senyawa yang terbawa seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan TiO₂, sehingga tidak hanya menghasilkan natrium silika (Na₂SiO₃) dan kalium silikat (K₂SiO₃), namun juga natrium alumina (NaAl(OH)₄). Jika kedua senyawa tersebut bereaksi, akan dihasilkan natrium alumina silika atau zeolit pada suhu mulai dari 100°C hingga 180°C (Balandis & Traidaraite, 2007). Berdasarkan teori tersebut, maka penurunan massa silika yang terjadi pada suhu 105°C disebabkan karena adanya silika yang terkonversi menjadi zeolit.

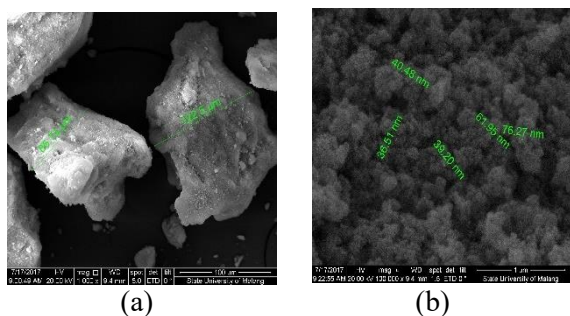
Hasil Analisa SEM

Analisa SEM yang kami lakukan dalam hal ini untuk mengetahui ukuran partikel yaitu diameter silika yang dihasilkan dalam penelitian. Pengujian SEM dilakukan di Universitas Negeri Malang. Sampel yang kami analisa yaitu NaOH dengan rasio 1:15,13 pada suhu 95°C dan KOH dengan rasio 1:11 pada suhu 95°C. Analisa SEM bertujuan untuk mengetahui bahwa silika yang dihasilkan dapat digunakan sebagai adsorben. Hasil analisa SEM disajikan pada gambar 3 dan 4.



(a) (b)

Gambar 3. Morfologi Silika pada Perbesaran (a) 1000x dan (b) 100.000x Menggunakan larutan NaOH dengan Rasio 1:15,13 pada Suhu 95°C



(a) (b)

Gambar 4. Morfologi Silika pada Perbesaran (a) 1000x dan (b) 100.000 Menggunakan Larutan KOH dengan Rasio 1:11 pada Suhu 95°C

Gambar 3 (a) dan 4 (a) terlihat dengan jelas bahwa permukaan sampel tidak merata dan terdiri dari gumpalan (*cluster*), yang mengidentifikasi adanya ukuran yang cukup beragam dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan. Dari gambar 3 dan 4 pada perbesaran 100.000 kali (gambar 3 b), silika memiliki diameter rata-rata 37,99 nm – 67,97 nm, dan pada gambar 4 (b) silika yang dihasilkan memiliki diameter rata-rata 36,51 nm – 76,27 nm. Sedangkan untuk perbesaran 1.000 kali, diameter partikel silika pada gambar 3 (a) sebesar 241,2 mikron, dan pada gambar 4 (a) sebesar 85,74 mikron dan 122,5 mikron. Semakin kecil ukuran partikel yang digunakan sebagai adsorben maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih dari 0,01 mm, sedangkan ukuran diameter dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh (Suartika, 2012), atau sama dengan 74 μm . Berdasarkan teori tersebut, maka silika yang kami hasilkan bisa digunakan sebagai adsorben.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dihasilkan pada penelitian ini, yaitu:

1. Semakin tinggi suhu proses, maka kadar silika yang dihasilkan semakin tinggi, karena meningkatkan konstanta kecepatan reaksi sehingga meningkatkan laju reaksi.
2. Ekstraksi silika dengan NaOH menghasilkan produk yang lebih banyak daripada KOH, karena larutan NaOH memiliki rasio mol yang lebih besar dari pada larutan KOH.
3. Rasio mol fly ash dengan reaktan mempengaruhi jumlah silika yang diambil, dimana semakin besar perbandingan mol antara fly ash dengan reaktan, maka semakin banyak silika yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aigbe, U. O., Ukhurebor, K. E., Onyancha, R. B., Osibote, O. A., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2021). Fly ash-based adsorbent for adsorption of heavy metals and dyes from aqueous solution: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 2751–2774.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.140>
- Aisah, S., Zulfikar, Z., & Sulistiyo, Y. A. (2018). Sintesis Silika Gel Berbasis Fly Ash Batu Bara PLTU Paiton Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B. *BERKALA SAINSTEK*, 6(1), 31.
<https://doi.org/10.19184/bst.v6i1.7761>
- Anggia, D. M., Kimia, J., & Hakim, J. A. R. (2016). *Pemurnian Silika pada Abu Layang dari Pembangkit Listrik di Paiton (PT YTL) dengan Pelarutan Asam Klorida dan Aqua regia*. 5(2).
- Ardiansah, A., Hakim, R., & Albar J, Muh. A. (2023). Ekstraksi Besi Oksida (Fe₂O₃) dari Limbah Abu Terbang (Fly Ash) sebagai Upaya Pengembangan Industri Ramah Lingkungan. *JNSTA ADPERTISI JOURNAL*, 3(2), 7–11.
<https://doi.org/10.62728/jnsta.v3i2.435>
- Asof, M., Arita, S., Andalia, W., & Naswir, M. (2022). *Analisis Karakteristik, Potensi dan*

- Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Industri Pupuk*. 28(1).
- Balandis, A., & Traidaraite, A. (2007). *The influence of Al containing component on synthesis of analcime of various crystallographic systems*.
- Caroles, J. D. S. (2019). Ekstraksi silika yang terkandung dalam limbah abu terbang batu bara. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(1), 5. <https://doi.org/10.37033/fjc.v4i1.43>
- Fadli, A. F., & Tjahjanto, R. T. (t.t.). *EKSTRAKSI SILIKA DALAM LUMPUR LAPINDO MENGGUNAKAN METODE KONTINYU*.
- Haryanti, N. H. (t.t.). *UJI ABU TERBANG PLTU ASAM ASAM SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN BATA RINGAN*.
- Mastuti, E. (2012). PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN RATIO BAHAN PADA HIDROLISA TEPUNG KULIT SINGKONG. *EKUILIBIUM*, 11(2). <https://doi.org/10.20961/ekuilibrium.v11i2.2218>
- Nurrohmat, M. N. R., Dewi, E., & Junaidi, R. (2023). *Pemanfaatan Fly Ash dari Sisa Pembakaran Batubara PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dalam Pembuatan Silika Gel Sebagai Adsorben Limbah Zat Warna Methylene Blue*. 7.
- Purba, O. G. H. F., Yanda, R., Munandar, A., Alam, F. C., & Taher, T. (2024). COD's Level Reduction of Tofu Industrial Wastewater by Using Activated Coal Fly Ash as Adsorbent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1317(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1317/1/012023>
- Putri, N. P., Muslim, M. A., Sitorus, J. G., Putra, D. L., & Marjenah, M. (2019). EXTRACTION OF KETAPANG SEEDS (TERMINALIA CATAPPA LINN) AS RAW MATERIAL OF BIODIESEL. *Konversi*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.20527/k.v7i1.4870>
- Retnosari, A. (2013). *EKSTRAKSI DAN PENENTUAN KADAR SILIKA (SiO₂) HASIL EKSTRAKSI DARI ABU TERBANG (FLY ASH) BATUBARA*. Universitas Jember.
- Rizkita, N., Machmudah, S., Wahyudiono, Winardi, S., Adschiri, T., & Goto, M. (2023). Phytochemical compounds extraction from *Orthosiphon aristatus*, *Andrographis paniculata*, *Gynura segetum* using hydrothermal method: Experimental kinetics and modeling. *South African Journal of Chemical Engineering*, 46, 330–342. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.08.010>
- Suartika. (2012). *Modifikasi Zeolit dengan Menambahkan Karbon Aktif dari Alang-alang (Imperata silindrika) sebagai adsorben gas CO dari Kendaraan Bermotor*. Politeknik Negeri Bandung.
- Utama, P. S. (2013). *Pengaruh Suhu dan Waktu pada Ekstraksi Silika dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara*.