



**PENINGKATAN KONSENTRASI SILIKA PADA PROSES *LEACHING*  
DARI LIMBAH *BOTTOM ASH* BATUBARA**

***INCREASING SILICA CONCENTRATION IN THE LEACHING PROCESS  
OF COAL BOTTOM ASH WASTE***

A.P. Gobel<sup>1\*</sup>, H. Waristian<sup>2</sup>, D. Purbasari<sup>3</sup>, R. Pebrianto<sup>4</sup>, R.Z. Mirahati<sup>5</sup>, D.J. Rianto<sup>6</sup>, R.W. Putri<sup>7</sup>, Yandriani<sup>8</sup>

<sup>1-4</sup>Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

<sup>5</sup>Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

<sup>6</sup>Teknik Pertambangan, Universitas Muara Bungo

<sup>7,8</sup>Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya

<sup>1-4,7,8</sup>Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan 30862, +62(711) 580063

<sup>5</sup>Jl. Ring Road Utara No.104, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283, +62(711) 580063

<sup>6</sup>Jl. Pangeran Diponegoro, Cadika, Rimbo Tengah, Kabupaten Bungo, Jambi 37211, 082306355594

e-mail: <sup>1\*</sup>[aliefthyani.gobel@gmail.com](mailto:aliefthyani.gobel@gmail.com)

**ABSTRAK**

Peningkatan konsentrasi silika menggunakan metode *direct leaching* dari *bottom ash* tidak hanya memiliki potensi ekonomi yang signifikan, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan. Pemanfaatan *bottom ash* untuk mengurangi permasalahan volume limbah yang harus segera diatasi, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, pemanfaatan silika dari limbah *bottom ash* dapat mengurangi kebutuhan akan penambangan silika baru, yang berarti juga mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas penambangan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi silika ( $\text{SiO}_2$ ) dari limbah *bottom ash* dengan proses *direct leaching* dengan mengurangi konsentrasi mineral pengotor serta menganalisis efektifitas proses *direct leaching* tersebut. Metode penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan dua tahap yaitu pengujian *direct leaching* dan pengujian *X-Ray Fluoresces* (XRF). Tahap *direct leaching* dilakukan dengan menggunakan *bottom ash* sebanyak 200gram, agen pelarut basa berupa NaOH teknis dengan konsentrasi 2M, 6M dan 8M serta pelarut asam berupa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  teknis dengan mekanisme pencampuran secara berurutan. Tahap pengujian XRF bertujuan untuk mengetahui peningkatan konsentrasi mineral  $\text{SiO}_2$  setelah dilakukan pengujian sampel dengan *direct leaching*. Analisis data dilakukan secara deskriptif-verifikatif terhadap peningkatan konsentrasi silika pada *bottom ash*. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi silika berbeda-beda berdasarkan variasi konsentrasi NaOH yaitu 76,51% (3M), 79,51% (6M), dan 80,43% (8M) dari konsentrasi awal silika sebesar 64,14%. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa proses *direct leaching* yang dilakukan pada penelitian ini sangat efektif menurunkan konsentrasi mineral pengotor pada *bottom ash* sehingga terjadi peningkatan konsentrasi mineral silika ( $\text{SiO}_2$ ).

**Kata kunci:** *bottom ash*, *leaching*, NaOH, silika ( $\text{SiO}_2$ )

**ABSTRACT**

*The increase in silica concentration using the direct leaching method from bottom ash not only has significant economic potential but also provides environmental benefits. Utilizing bottom ash helps address the issue of waste volume that needs immediate attention, thereby reducing negative environmental impacts. Additionally, the use of silica from bottom ash can decrease the need for new silica mining, which also means reducing the environmental impact of mining activities. Therefore, this research aims to enhance the concentration of silica ( $\text{SiO}_2$ ) from bottom ash through direct leaching, reducing the concentration of contaminant minerals and analyzing the effectiveness of this direct leaching process. The research method was conducted on a laboratory scale with two stages: direct leaching testing and X-Ray Fluorescence (XRF) testing. The direct leaching stage used 200 grams of bottom ash, with sodium hydroxide (NaOH) as the base solvent at concentrations of 2M, 6M, and 8M, and sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) as the acid solvent, mixed in sequence. The XRF testing stage aimed to determine the increase in  $\text{SiO}_2$  mineral concentration after sample testing through direct leaching. Data analysis was performed descriptively and verifiably on the increase in silica concentration in bottom ash. The*

results showed that the increase in silica concentration varied based on the NaOH concentration: 76.51% (3M), 79.51% (6M), and 80.43% (8M) from an initial silica concentration of 64.14%. These results indicate that the direct leaching process conducted in this study is very effective in reducing the concentration of contaminant minerals in bottom ash, leading to an increase in silica mineral concentration ( $\text{SiO}_2$ ).

**Keywords:** bottom ash, leaching, NaOH, silica ( $\text{SiO}_2$ )

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan batubara Indonesia saat ini didominasi oleh industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk menghasilkan energi listrik. Penyerapan batubara pada PLTU untuk menghasilkan energi listrik dilakukan pada peringkat batubara sub-bituminus hingga bituminus dengan mempertimbangkan aspek teknis dan juga ekonomi. Pada proses pembakaran batubara dengan kualitas rendah, akan mempengaruhi tingkat kesempurnaan pembakaran. Selain itu, pembakaran dapat terjadi secara sempurna apabila pada batubara tersebut mengandung sedikit mineral pengotor. Pada umumnya semakin tinggi peringkat batubara maka akan semakin rendah kandungan mineral pengotornya. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan batubara peringkat sedang pada PLTU sudah tentu akan menghasilkan limbah padat. Limbah padat pada batubara hasil pembakaran di PLTU menghasilkan 2 jenis limbah yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Berdasarkan data laporan Direktur Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM menunjukkan bahwa jumlah produksi FABA dari batubara yang dibakar pada tungku pembakaran di PLTU menghasilkan hingga 10 persen per satuan berat batubara. Sepanjang 2023, dari pembakaran batubara PLTU PLN menghasilkan FABA sebesar 1,43 juta ton.

Pada PLTU, batubara dibakar di dalam *boiler* untuk menghasilkan panas yang digunakan untuk mengubah air dalam pipa-pipa yang dilewatkan melalui *boiler* menjadi uap, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. Kinerja pembangkitan tenaga listrik pada suatu PLTU sangat ditentukan oleh efisiensi panas dari proses pembakaran batubara, karena selain mempengaruhi efisiensi pembangkitan, juga dapat menekan biaya pembangkitan [1]. *Bottom ash* atau abu dasar merupakan hasil proses pembakaran batubara yang jatuh pada dasar tungku pembakar *boiler* dan terkumpul pada penampung debu *ash hopper*. Saat ini melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 status FABA telah dinyatakan sebagai limbah Non-B3 sehingga perlu pengelolaan limbah FABA yang bersifat produktif dan ekonomis sebagai langkah meningkatkan nilai tambah dari FABA tersebut [2]. Kegiatan pengelolaan limbah juga diatur pemerintah melalui Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012 yang menjelaskan bahwa pengelolaan sampah

dilakukan sebagai kegiatan yang sistematis, komprehensif dan berkelanjutan mencakup pengurangan dan penanganan sampah [3]. Adanya aturan tersebut menjadikan sampah sebagai sumberdaya yang memiliki nilai ekonomis. Sistem pengelolaan sampah yang komprehensif dan terintegrasi dapat dilakukan dari sumber limbah, pengumpulan, pengangkutan, pemrosesan antara di TPS (Tempat Pembuangan Sementara), dan pemrosesan akhir di TPA (Tempat Pengolahan Akhir).

*Bottom ash*, yang merupakan sisa pembakaran batubara yang tertinggal di dasar tungku, mengandung berbagai komponen kimia, termasuk silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam jumlah signifikan. Berbagai penelitian telah dilakukan mengenai FABA di Indonesia. Menurut kajian pengelolaan dan pengolahan limbah FABA sebagai adsorben dalam meningkatkan pH dan meminimalisir logam Fe dan Mn pada air tambang dengan memanfaatkan mineral kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dan mullite ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ) [4], bahan konstruksi [5], serta digunakan dalam bidang pertanian sebagai campuran pupuk kompos [6]. Potensi FABA berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dikarenakan adanya unsur silika yang lebih dominan sebagai agen penting dalam pemanfaatan. Hal ini sejalan dengan perkembangan teknologi maju saat ini dengan pemanfaatan mineral kuarsa yang terdapat pada FABA dapat menjadi primadona yang lebih ekonomis dengan mempertimbangkan aspek teknis dan lingkungan. Salah satu produk yang banyak memanfaatkan mineral kuarsa yaitu silika adalah pembuatan kaca dan panel surya silikon.

Silika merupakan bahan penting dalam berbagai industri, termasuk konstruksi, kaca, dan keramik. Namun, kandungan silika dalam *bottom ash* sering kali terikat dalam matriks yang sulit diekstraksi secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efektif untuk meningkatkan konsentrasi silika dari *bottom ash* agar dapat dimanfaatkan lebih optimal. Metode *leaching* adalah salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengekstraksi silika dari *bottom ash*. Proses *leaching* melibatkan penggunaan pelarut untuk melarutkan komponen yang diinginkan dari material padat. Dalam konteks ini, *leaching* dapat digunakan untuk melarutkan mineral-mineral pengotor dari matriks silika pada *bottom ash* sehingga konsentrasi silika dapat ditingkatkan. Pemanfaatan *bottom ash* yang lebih luas dapat

mengurangi volume limbah yang harus ditangani, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, pemanfaatan bahan ini dapat mengurangi kebutuhan akan penambangan silika baru, yang berarti juga mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas penambangan tersebut.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode *leaching* dapat efektif dalam mengekstraksi berbagai komponen dari limbah industri. Pengolahan limbah *bottom ash* dengan mengekstraksi silika yang terkandung telah banyak dilakukan penelitian diantaranya dilakukan dengan pemurnian mineral kuarsa pada tanah napal pesisir pantai selatan menggunakan proses *leaching* terjadi peningkatan kadar  $\text{SiO}_2$  setelah diekstraksi menjadi 69,85% dengan konsentrasi NaOH 8M [7]. Penelitian selanjutnya dari Joice D. S. Carole (2019) menunjukkan bahwa kandungan silika yang diperoleh setelah ekstraksi dengan pencucian menggunakan asam klorida, memberikan hasil sebesar 80,42 % [8]. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah hasil peningkatan konsentrasi silika berfokus pada residu padatan *bottom ash* batubara (*coal bottom ash*) pada pengujian *leaching* tanpa adanya proses pelarutan silika melainkan terjadi proses pelarutan mineral-mineral pengotor yang mampu dilarutkan oleh agen pelarut NaOH dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Sehingga teknis pengujian seperti ini memiliki keunggulan diantaranya proses peningkatan konsentrasi silika pada padatan CBA sangat mudah dan tahapan pengujian cukup sederhana serta hasil residu padatan CBA yang dimanfaatkan pada penelitian ini sejalan dengan konsep pengelolaan dan pengolahan limbah B3 maupun Non-B3 (*reduce, reuse, recycle, recovery, repair*) [9]. Oleh karena hal itu, untuk membuktikan bahwa benar terjadi peningkatan konsentrasi pada padatan CBA maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan (1) menganalisis komposisi kimia mineral pada *bottom ash* menggunakan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) sebelum dilakukan pengujian *direct leaching* (2) menganalisis efektifitas proses *direct alkaline leaching* dengan variasi NaOH dalam meningkatkan persentase kadar mineral kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) pada residu *bottom ash* berdasarkan hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Berdasarkan penjelasan latar belakang dan studi literatur yang telah dilakukan diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengelolaan limbah batubara dan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas metode *direct leaching* dalam meningkatkan konsentrasi silika pada limbah *bottom ash* batubara. Studi ini akan mengevaluasi berbagai parameter proses untuk mengoptimalkan kondisi ekstraksi, dengan harapan dapat menghasilkan metode yang efisien dan ekonomis untuk pemanfaatan *bottom ash*.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat deskriptif-verifikatif dengan menghubungkan peningkatan konsentrasi silika dari hasil pengujian XRF pada padatan residu *bottom ash* terhadap variasi konsentrasi NaOH pada proses *direct leaching*. Sampel *bottom ash* diperoleh dari PLTU Banko, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Tahapan pengujian laboratorium terdiri dari dua tahap yaitu tahap pengujian *direct leaching* dan tahap pengujian XRF. Berikut ini bahan dan alat pengujian yang dipakai pada penelitian yaitu :

- a) Bahan kimia yang digunakan: aquades, Natrium Hidroksida (NaOH) teknis, Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) teknis.
- b) Bahan Non-Kimia yang digunakan: *coal bottom ash* (CBA), kertas saring whattman No.41
- c) Alat yang digunakan: oven, neraca digital, cawan, sendok, pH meter, termometer, gelas kimia, corong, *vacuum*, dan *erlenmeyer*.

Mekanisme pengujian *leaching* dilakukan mengikuti standar pengujian yang representatif dalam tahapan analisis. Banyak publikasi ilmiah menggunakan 100gram sebagai sampel standar untuk analisis laboratorium. Penggunaan sampel 100gram dalam 300 ml air pelarut dalam prosedur laboratorium dan penelitian didasarkan pada prinsip representativitas, konsistensi, efisiensi proses, dan kepraktisan. Jumlah ini memastikan bahwa hasil yang diperoleh dapat memaksimalkan efektivitas proses *leaching*. Selanjutnya untuk waktu pengujian digunakan 120 menit di laboratorium untuk memenuhi kecukupan waktu saat implementasi teknis dan efisiensi waktu di lapangan.

Pengujian *leaching* di laboratorium dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan NaOH teknis dengan konsentrasi 3M, 6M dan 10M menggunakan rumus (Persamaan 1 dan 2). Penggunaan konsentrasi ini dilakukan untuk mendapatkan pengamatan yang detail pada setiap perubahan reaksi yang ditimbulkan dari konsentrasi rendah yaitu 3M, 6M sampai 10M dalam meningkatkan konsentrasi silika. Batasan konsentrasi NaOH pada penelitian ini hanya sampai pada 10M berlandaskan pada penelitian sebelumnya oleh Eriek Aristya Pradana Putra, dkk, 2022 yang telah melakukan peningkatan konsentrasi silika dengan NaOH pada variasi 6 M, 8 M, 10 M, dan 12 M. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 10M lebih efektif dalam meningkatkan konsentrasi silika [10].

$$M = \frac{n}{V} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :  
M : molaritas zat (mol/liter atau Molar)  
n : mol suatu zat (mol)

V : volume larutan (ml)

$$n = \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

n : mol suatu zat (mol)

gram : massa suatu zat (g)

Mr : massa molekul relatif suatu zat (gram/mol)

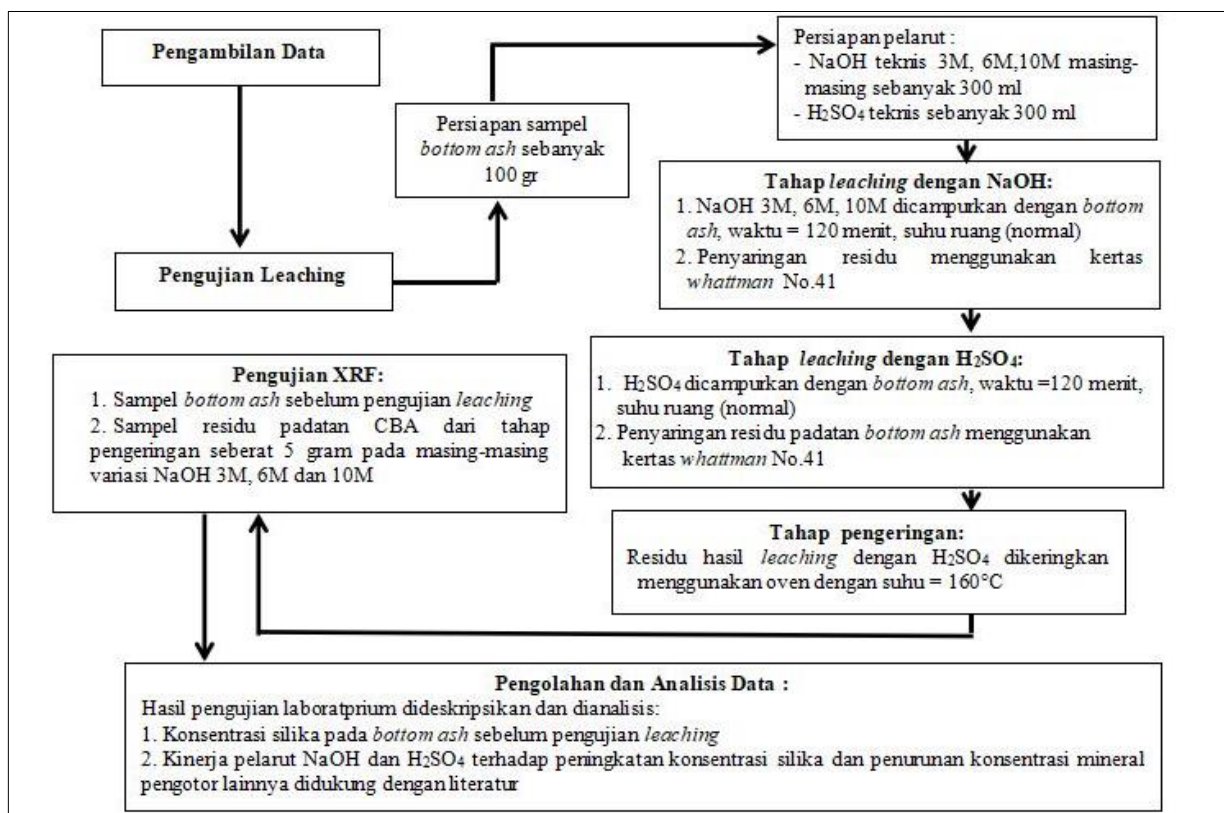
- Setelah proses *leaching* dilakukan kemudian proses pengambilan residu padatan CBA hasil pengujian menggunakan kertas saring *whatman* No. 41 dengan bantuan alat vacuum.
- Selanjutnya dilakukan pengujian pemunian CBA menggunakan  $H_2SO_4$  teknis sebanyak 300ml

dicampurkan langsung pada residu dalam waktu kontak selama 120 menit.

- Residu hasil pemunian disaring kembali secara manual kemudian dilakukan pencucian menggunakan aquades sebanyak 5x. Pencucian bertujuan untuk mengurangi kandungan asam pada residu CBA.

- Residu yang telah dicuci lalu dikeringkan pada oven dengan suhu  $160^\circ C$  selama 15 jam.

Setelah dilakukan pengujian laboratorium tahap selanjutnya dilakukan pengujian XRF dengan kebutuhan sampel residu padatan CBA sebanyak 5 gram. Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui secara kimia kandungan mineral penyusun dari residu CBA dan persentase pada setiap mineral. Rancangan penelitian untuk memperoleh data merujuk pada bagan alir di bawah ini (Gambar 1).



Gambar 1. Bagan Alir Pengolahan Data

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Mineral Penyusun Coal Bottom Ash (CBA)

Pada dasarnya, komposisi mineral penyusun pada *bottom ash* yang dihasilkan dipengaruhi oleh kualitas batubara yang digunakan pada proses pembakaran di PLTU. Kualitas batubara mempengaruhi laju pemakaian batubara pada tungku pembakaran, sehingga semakin cepat habis proses pembakaran batubara akan semakin

laju pula pembentukan abu *fly ash* maupun *bottom ash*. Menurut penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa unsur pokok *ash* batubara dapat dibagi dua klasifikasi basa dan asam. Unsur pokok basa seperti  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . Untuk pokok asam seperti  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  [11]. Unsur basa dan asam kecenderungan bahan campuran berasal dari titik lebur yang rendah.

Penelitian lainnya yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa abu sisa pembakaran memiliki dua komponen mineral utama yaitu kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dan *mullite* ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ) berdasarkan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) [4]. Pada penelitian ini, *bottom ash* dilakukan pengujian terlebih dahulu menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence) untuk mengetahui persentase komposisi mineral oksida yaitu mineral kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) kemudian dilakukan pengujian *leaching* dan pemurnian untuk meningkatkan kadar  $\text{SiO}_2$  (Tabel 2). Tabel 2 menunjukkan kandungan mineral kuarsa berupa silika ( $\text{SiO}_2$ ) dengan persentase tertinggi terdapat pada *bottom ash* (BA) sebesar 64,14%.

**Tabel 2.** Komposisi Mineral Penyusun FABA

Senyawa	Persentase (%) Coal Bottom Ash (CBA)
$\text{SiO}_2$	64,14
$\text{Al}_2\text{O}_3$	24,75
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,00
CaO	1,95
MgO	1,22
$\text{Na}_2\text{O}$	0,75
$\text{SO}_3$	0,69
$\text{TiO}_2$	0,63
$\text{K}_2\text{O}$	0,63
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,16
$\text{Mn}_3\text{O}_4$	0,04

Berdasarkan Tabel 2, *bottom ash* yang dihasilkan berasal dari batubara dengan kualitas bituminus. Hal ini terlihat dari kandungan *bottom ash* yang memiliki persentase kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) lebih dari 50% [12]. Kemudian berdasarkan penentuan tipe abu menggunakan metode *Badrock* and *Wilcox* menunjukkan bahwa komposisi mineral penyusun *bottom ash* pada penelitian ini adalah abu tipe bituminus dengan kadar  $\text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$  [13]. Kemudian klasifikasi abu sisa pembakaran menurut Canadian Standard CSA A-23.5 dan ASTM C 618 termasuk kelas F dikarenakan memiliki kadar  $\text{CaO} < 8\%$  dan kandungan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  lebih dari 70% 80,26% serta kandungan  $\text{SO}_3$  kurang dari 5% (Kelas F) [14].

### Pengujian Direct Leaching Dengan NaOH

Pada penelitian yang telah banyak dilakukan menunjukkan bahwa NaOH dapat melarutkan silika karena akan larut pada suasana basa. Namun pada penelitian ini, silika pada *bottom ash* tidak larut pada masing-masing konsentrasi 3M, 6M dan 10M NaOH. Proses *leaching* silika pada *bottom ash* menggunakan larutan NaOH akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut:



Pembentukan senyawa natrium silikat ( $\text{NaSiO}_3$ ) diyakini berupa padatan yang terbentuk pada endapan *bottom ash*. Kelarutan natrium silikat tidak terjadi pada pengujian *leaching* ini disebabkan oleh faktor suhu yang diterapkan pada pengujian penelitian pada suhu ruang. Secara umum, proses *leaching* yang telah banyak diterapkan pada penelitian sebelumnya dilakukan dengan penambahan temperatur mulai dari  $30^\circ\text{C}$  sampai  $105^\circ\text{C}$  dijelaskan pada penelitian sebelumnya sehingga meningkatkan kelarutan silika dalam NaOH. Sebaliknya, kelarutan silika tidak signifikan terjadi pada temperatur rendah [14].

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 terlihat bahwa kenaikan persentase komposisi mineral silika pada CBA sebanding dengan kenaikan konsentrasi NaOH dan sebaliknya kenaikan konsentrasi NaOH berbanding terbalik terhadap komposisi mineral lain pada *bottom ash*. Peningkatan silika pada masing-masing variasi yaitu NaOH 3M dapat meningkatkan konsentrasi silika dari 64,14% menjadi 76,51%, NaOH 6M meningkatkan konsentrasi silika menjadi 79,51% dan NaOH 10 M dapat meningkatkan konsentrasi silika menjadi 80,43%. Kondisi ini menunjukkan bahwa terjadi proses pemurnian pada residu *bottom ash* dari mineral pengikat yang terikat dalam silika (Tabel 3).

**Tabel 3.** Hasil Pengujian *Bottom Ash* Melalui Pengujian XRF Setelah Percobaan

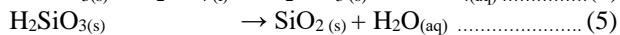
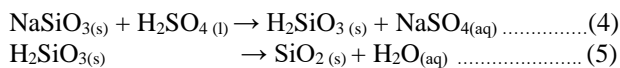
Senyawa	Persentase Kadar (%)		
	Coal Bottom Ash (3M)	Coal Bottom Ash (6M)	Coal Bottom Ash (10M)
$\text{SiO}_2$	76,51	79,51	80,43
$\text{Al}_2\text{O}_3$	17,64	13,10	12,89
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,3	4,06	3,18
CaO	0,72	0,80	0,59
MgO	0,85	0,62	0,48
$\text{Na}_2\text{O}$	0,45	0,50	0,39
$\text{SO}_3$	1,19	0,31	0,05
$\text{TiO}_2$	0,68	0,59	0,62
$\text{K}_2\text{O}$	0,57	0,31	0,42
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,06	0,06	0,05
$\text{Mn}_3\text{O}_4$	0,02	0,02	0,02

Tabel 3 menunjukkan adanya peningkatan komposisi silika pada residu *bottom ash* sudah sesuai dengan tujuan penelitian ini yaitu mendapatkan persentase konsentrasi silika yang tinggi pada residu bukan pada filtrat *leaching*. Hal ini untuk mendukung paradigma pengelolaan limbah *bottom ash* batubara yang tepat dengan cara mengurangi limbah yang ada pada *landfill* PLTU. Beberapa referensi yang mendukung indikasi silika tidak dapat larut dalam NaOH dapat terjadi di antaranya karena temperatur pada percobaan *leaching* yang rendah [11] dan silika dalam

bentuk kuarsa tidak mudah larut dengan soda kaustik (NaOH) pada temperatur rendah pada proses *bayer*, tetapi silika sebagai lempung (silika reaktif) dapat larut dalam larutan NaOH [15]. Selanjutnya penurunan persentase mineral  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  disebabkan proses *leaching* dengan NaOH sehingga  $SiO_2$  yang berikatan struktur dengan  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  menjadi lepas dan terlarut. Beberapa penelitian telah ditunjukkan mengenai kelarutan mineral oksida asam diantaranya penelitian yang dilakukan oleh J W Soedarsono, et al (2018) menunjukkan bahwa pelindian dengan NaOH akan melarutkan oksida-oksida CaO,  $Fe_2O_3$ , dan  $ZrO_2$  [16]. Hasil penelitian selanjutnya oleh Husaini, et al (2018) mengenai kelarutan  $Al_2O_3$  dalam NaOH sebanding dengan lamanya waktu kontak [13].

### Pengujian *Direct Leaching* Dengan $H_2SO_4$

Pada pengujian *leaching* menggunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) memberikan reaksi terhadap kemurniannya kandungan silika pada residu *bottom ash*. Reaksi kimia yang terjadi pada silika hasil *leaching* NaOH sebelumnya sebagai berikut:



Pada dasarnya asam sulfat mempengaruhi secara signifikan penurunan persentase kelarutan mineral seperti  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO, MgO, dan  $K_2O$ . Kondisi ini menunjukkan bahwa terjadi pelarutan pada mineral-mineral tersebut. Hal ini dikarenakan sifat asam yang mudah berikatan dengan unsur basa sehingga mudah terlarut. Pada mineral silika tidak terjadi pula kelarutan pada suasana asam, hal ini jelas karena fasa kuarsa tidak larut dalam larutan pelindi asam sehingga semakin lama waktu pelindian, semakin banyak logam yang terlarut di dalam larutan pelindi, sementara silika tertinggal di dalam residu. Sehingga mengenai terak peleburan timah mengandung Si, Fe, dan Al yang berikatan dengan Ca, maka pada saat pelindian dalam larutan asam nitrat akan mengalami pelarutan Ca, Al, dan Fe, yang mengakibatkan keruntuhan struktur ikatan, dan melepaskan partikel-partikel halus  $SiO_2$  sebagai larutan koloid [17]. Pelarutan mineral pengikat pada reagen asam tersebut sejalan dengan penelitian oleh Novita Andarini, et al (2018) yang menunjukkan bahwa tahap pemurnian silikon dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan pengotor berupa senyawa MgO [18]. Selain itu, pada penelitian oleh Alieftiyani Paramita Gobel, et al menunjukkan terjadi pelarutan unsur kation Ca, Mg dan Na pada *fly ash* dengan air asam tambang (AAT) [4].

### KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa komposisi *bottom ash* sisa pembakaran batubara berpotensi silika dengan kadar 64,14% dan merupakan sisa pembakaran batubara peringkat bituminus. Metode

*leaching* menggunakan pelarut basa NaOH 10M dan dilanjutkan dengan proses *leaching* menggunakan pelarut asam  $H_2SO_4$  terbukti meningkatkan kemurnian silika pada residu *bottom ash* dari konsentrasi 64,11% menjadi 80,43%.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan analisis secara sistematis terhadap hasil residu *leaching* menggunakan NaOH untuk mendapatkan validasi ketidaklarutan silika dalam larutan NaOH dan mendapatkan proses pemurnian yang lebih singkat dengan kemurnian silika hingga 99% pada residu *bottom ash*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada Unit Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Sriwijaya yang telah memberikan bantuan dana penelitian melalui Hibah PNBPF Fakultas Teknik pada DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2023.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ivan Darren Alber, Berkah Fajar Tamtono Kiono. (2022). Analisis Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan, Heat Rate dan Efisiensi pada Unit 1 PLTU Kendari-3. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 3(3), 179–186.
- [2] Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- [3] Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- [4] Alieftiyani P.G., Edy Nursanto, Wawong Dwi Ratminah, (2018), Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Dalam Menetralsir Air Asam Tambang Pada Settling Pond Penambangan Banko PT Bukit Asam (Persero), Tbk. *Jurnal Mineral dan Lingkungan*, 2(1), 1-11.
- [5] Vera Zesica Simanjuntak, Henggar Risa Destania, Febryandi, (2023), Pengaruh Campuran Zat Aditif Sikacim Dan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton, *Jurnal Deformasi*, 8(1), 15–22.
- [6] Lutfiah Khasanah dan Arief Budiono, (2022), Pengaruh Penambahan FaBa Terhadap Sifat Fisik dan Derajat Keasaman (pH) Kompos Distilat, *Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3), 460-468.
- [7] Asy Syifa Hanawindy, Mawardi Mawardi, (2023), Ekstraksi Silika ( $SiO_2$ ) dari Mineral Tanah Napa Pesisir Selatan, *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 12(1), 31-34.



- [8] Joice D. S. Caroles. (2019). Ekstraksi silika yang terkandung dalam limbah abu terbang batubara. *Fullerene Journal Of Chem*, 4(1), 5-7.
- [9] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2021 Tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Non Bahan Berbahaya dan Beracun.
- [10] E. A. P. Putra, A. Makmur, Rahmayanti, dan A. Malau. (2022). Pengaruh Waktu Dan Konsentrasi NaOH Pada Ekstraksi Silika (SiO<sub>2</sub>) Dari Limbah Fly Ash Batubara, *JTKM*, 1(2), 56-59.
- [11] Chandra, D., & Firdaus, (2021), Analisa Pengaruh Aktivator Kalium Dan Kondisi Material Pada Beton Geopolymer Dari Limbah B3 Fly Ash Batubara Terhadap Kuat Tekan, *Jurnal Rekayasa*, 11(1), 1-16.
- [12] Muh Akbar, Hamsina, Fitri Ariani, (2022), Potensi Terjadinya Slagging dan Fouling Berdasarkan Analisis Faktor Babcock Dan Wilcox Pada Batubarasaintis, *Jurnal SAINTIS*, 3(1), 1-14.
- [13] American Society for Testing and Materials, (1997), ASTM C 618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in concrete. In Annual Book of ASTM Standards.
- [14] Regna Tri Jayanti, Annisa Aulia Furqana Ramzi, Muhammad Hanif Alfitra, (2022), Karakterisasi Kelarutan Silika dari Fly Ash Kelapa Sawit dalam Larutan Basa Kuat (NaOH) dan Asam Lemah (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>), *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(2), 98-104.
- [15] Husaini, Dessy Amalia Dan Yuhelda, (2018), Pelarutan bijih bauksit dengan soda kaustik (NaOH) menjadi larutan sodium aluminat (NaAlO<sub>2</sub>) skala pilot, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 12(3), 149-159.
- [16] J. W. Soedarsono, S Permana, J K Hutauruk, R Adhyputra, A Rustandi, A Maksum, K S Widana, K Trinopiawan and M Anggraini, (2018), *Upgrading tantalum and niobium oxides content in Bangka tin slag with double leaching*. IOP Conference Series: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [17] Sulaksana Permana, Debby Rachel, Agus Budi Prasetyoa, Rafdi Abdul Majid, Wahyu Kartika, Iwan Susanto, Johny Wahyuadi Soedarsono, (2022), Pengkayaan Unsur Yttrium Dan Cerium Pada Terak Timah Bangka: Analisis Termodinamika, *Metalurgi*, 35(2), 45-5.
- [18] Novita Andarini, Tanti Haryati, Rika Yulianti, (2018), Pemurnian Silikon (Si) Hasil Reduksi Silika dari Fly Ash Batubara, *Berkala Saintek*, 6(1), 49-54.