

Pelindian SiO₂ pada Abu Terbang Batu Bara (*Fly Ash*) sebagai Adsorben Amonium pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Metode *Hydrothermal*

Leaching SiO₂ on Coal *Fly Ash* as Ammonium Adsorbent in Tofu Liquid Waste Using Hydrothermal Method

Danang Jaya*, Anisa., Dian Prasetyani Basuki, Tunjung Wahyu Widayati

aUniversitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Sleman, Yogyakarta, 55283, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 7 November 2022
Diterima dalam revisi 14 November 2022
Diterima 14 November 2022
Online 15 November 2022

ABSTRAK: Pengolahan limbah cair tahu yang tidak tepat selama ini sangat berbahaya bagi kehidupan. Tercatat, kadar amonia dalam limbah cair tahu sebesar 23,3-23,5 mg/l dapat menimbulkan bau yang mengganggu kenyamanan warga. Salah satu solusi alternatif penjernihan limbah cair tahu, yakni dengan melakukan proses adsorpsi menggunakan *fly ash* batu bara. Kandungan SiO₂ sebanyak 60-70% di dalamnya mengakibatkan *fly ash* sangat potensial untuk menjerap kadar amonia. Pengekstraksi SiO₂ dengan metode sol gel dilakukan dengan menggunakan *fly ash* yang sudah melalui proses *hydrothermal*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui masaa dan waktu kontak yang dibutuhkan silika agar mencapai efisiensi adsorpsi optimum. Berdasarkan hasil pengujian, massa yang dibutuhkan SiO₂ agar mencapai efisiensi adsorpsi kadar amonia optimum adalah 0,25 gram/20 ml limbah cair tahu. Sedangkan waktu kontak yang dibutuhkan agar mencapai efisiensi adsorpsi kadar amonium optimum adalah 30 menit. Tercatat, silika hasil pengolahan *fly ash* yang dioptimasi memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan silika hasil pengolahan yang tidak dioptimasi maupun silika komersial.

Kata Kunci: *fly ash*; tahu; *hydrothermal*; adsorpsi; limbah

ABSTRACT: Soybean is one of the main food commodities in Indonesia. One of the soybean processing that is often consumed is tofu. Inappropriate treatment of tofu liquid waste is very dangerous for life. It is noted that the ammonia content in tofu liquid waste is 23.3-23.5 mg/l which can cause odors that disturb the residents' comfort. One alternative solution for purifying tofu liquid waste is to carry out an adsorption process using coal fly ash. Fly ash contains metal oxides in the form of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, and Na₂O. The content of SiO₂ as much as 60-70% in it causes fly ash to be very potential to absorb ammonia levels. Extraction of SiO₂ using the sol gel method was carried out using fly ash that had gone through a hydrothermal process. The hydrothermal process is a crystallisation technique in a closed container with high temperature and pressure. After going through the extraction stage, the ongoing process was continued with the washing stage to produce silica powder to adsorb ammonium. The mass required for silica to achieve the optimum ammonia concentration adsorption efficiency is 0.25 gram/20 ml of tofu liquid waste. Meanwhile, the contact time required for silica to achieve the optimum adsorption efficiency of ammonium content is 30 minutes. It was noted that the silica from the optimised fly ash processing had a better quality than the unoptimized silica or commercial silica.

Keywords: *fly ash*; tofu; *hydrothermal*; adsorption; waste

1. Pendahuluan

Indonesia saat ini sedang mengalami perkembangan pesat di bidang industri. Hal ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Seiring dengan perkembangan industri di Indonesia, limbah hasil proses yang tidak diolah dengan

baik dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem. Zat kimia yang mencemari lingkungan sangat berbahaya bagi keberlangsungan makhluk hidup. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang tepat dalam pengolahannya. Sektor industri yang paling banyak di Indonesia, terdapat di bidang pengolahan pangan. Keadaan SDA Indonesia sebagai negara

* Corresponding author
Email address: danang.jaya@upnyk.ac.id

agraris turut mendukung perkembangan ini. Kedelai merupakan salah satu komoditas pangan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia, terutama di Pulau Jawa (Supadi, 2009). Salah satu produk olahan yang paling mendominasi, yakni tahu. Tingginya permintaan konsumen akan produksi produk ini memberikan kesempatan bagi banyak pihak untuk menjadikannya sebagai ladang bisnis.

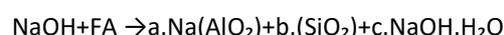
Menurut penelitian Ratnani et al. (2011), amonium merupakan salah satu senyawa sisa yang dihasilkan oleh pabrik tahu. Air limbah yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu dapat mencemari lingkungan karena mengandung zat organik. Zat organik ini dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme di dalam air dan dengan cepat menurunkan kandungan oksigen di dalam air. Merujuk pada penelitian yang dilakukan Pohan (2008) bahwa rata-rata dibutuhkan 45 liter air per 1 kilogram kedelai mentah untuk menghasilkan 43,5 liter whey tahu. Whey mengandung protein 40%-60%, karbohidrat 25%-50%, dan lemak 10% yang merupakan bahan organik. Bahan organik ini dengan cepat terdegradasi dalam air menjadi senyawa organik turunan pencemar lingkungan.

Limbah tahu tersusun atas bahan organik, bahan anorganik, dan gas. Cairan limbah tahu memiliki temperatur 37 - 45°C; kekeruhan 535-585 FTU; warna 2.225- 2.250 Pt.Co; BOD 6.000-8.000 mg/l, dan COD 7.500-14.000 mg/l. Amonium merupakan salah satu zat pencemar yang terdapat pada air limbah tahu dengan konsentrasi sebesar 23,3-23,5 mg/l (Kaswinarni, 2007). Menurut *Department of Health New York*, kadar amonium tidak boleh melebihi batas baku mutu. Kandungan amonium yang berlebih dapat mengakibatkan iritasi pada alat pernafasan, seperti *bronchiolar* dan *alveolar edema*, serta akan merusak ekosistem, seperti meningkatnya eceng gondok di sungai (eutrofikasi). Oleh karena itu, diperlukan penanganan lebih lanjut untuk menghindari efek negatif amonium.

Meningkatnya pertumbuhan Industri di Indonesia disertai oleh kebutuhan listrik yang besar pula. Salah satu sumber listrik yang banyak digunakan saat ini, yakni batu bara. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber dan Mineral, Indonesia memiliki setidaknya 171 PLTU batu bara dengan kapasitas 32.373 megawatt. Pembakaran batu bara pada PLTU akan menimbulkan polutan yang dapat mencemari lingkungan, yakni abu terbang dan abu dasar batu bara. Tercatat, *fly ash* atau abu terbang yang terkandung mencapai 80-90% dari total abu yang dihasilkan (Wardhani, Sutisna, & Dewi, 2012)

Pengolahan dan penyimpanan limbah *fly ash* yang terbentuk membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Pemanfaatan *fly ash* menjadi produk lain yang bermanfaat merupakan solusi tepat dalam sisi ekonomi maupun lingkungan. Saat ini, aplikasi *fly ash* telah banyak dipelajari sebagai adsorben untuk produksi logam berat, molekul organik, pewarna air limbah, dan zeolit (Li, et al., 2009). *Fly ash* memiliki kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang cukup banyak sehingga dapat digunakan sebagai adsorben yang baik.

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan *fly ash* dan limbah amonium cair secara bersamaan adalah dengan memodifikasi *fly ash* sebagai adsorben limbah amonium cair. Menurut penelitian Zhao, Remond, Damidot & Xu (2015) abu terbang dapat menyerap amonium karena beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi oleh *fly ash*, seperti rasio SiO₂ terhadap Al₂O₃, sisa karbon, kandungan uap air, volatilitas, serta suhu pembakaran batu bara Adsorpsi dapat ditingkatkan dengan perlakuan basa sehingga penambahan NaOH dapat meningkatkan daya adsorpsi *fly ash*. Merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Pengthamkeerati, Satapanajaru & Chularuengsoorn (2008) adanya perlakuan basa dapat menyebabkan terjadinya reaksi pembentukan NaPI ditandai dengan meningkatnya Na pada hasil karakterisasi EDX pengolahan abu terbang menggunakan NaOH. Reaksi antara abu terbang dan NaOH yang terjadi adalah sebagai berikut:



Mekanisme untuk pembentukan NaPI menurut Visa & Chelaru (2014) melalui tiga tahap, yaitu: (1) terlarutnya Si⁴⁺ dan Al³⁺ dari abu terbang; (2) kondensasi ion silikat dan aluminat pada larutan basa untuk menghasilkan gel aluminosilikat; dan (3) kristalisasi gel alumino-silikat untuk membentuk kristal zeolit. Ion OH⁻ pada larutan alkali berkontribusi pada proses pelarutan Si⁴⁺ dan Al³⁺ dari *fly ash*, sedangkan Na⁺ pada larutan alkali berkontribusi pada kristalisasi zeolit NaPI. Berdasarkan komposisinya, zeolit NaPI memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi. Zeolit ini dapat meningkatkan efek penyerapan kation berbahaya, misalnya ion amonium (Watanabe et al. 2012).

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Tahap ini dilakukan dengan menyiapkan bahan dan alat. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Abu terban Air demin, Limbah cair tahu, HCl, dan NaOH. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *X-Ray Diffraction* (XRD), spektrofotometri UV-Vis, tanur *furnace*, oven, pengaduk magnet, mortar, timbangan, gelas arloji, gelas ukur, gelas beker, kertas saring, labu ukur, *stopwatch*.

2.2 Persiapan Bahan Baku

Kadar amonia pada limbah cair tahu yang akan menjadi sampel percobaan terlebih dahulu diukur menggunakan metode Nessler. Sampel tersebut ditambahkan dengan reagen Nessler atau kalium tetraiodo merkurat (II) (HgI₄K₂) lalu dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

Abu terbang terlebih dahulu dianalisa menggunakan XRD untuk mengetahui kadar awal SiO₂ yang terkandung di dalamnya. Sampel yang akan diekstrak melalui metode *hydrothermal* kemudian ditimbang sebanyak 25 gr dan dicampur dengan NaOH 2M lalu diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 12 jam. Hasil pengadukan dituang dalam wadah lalu ditutup dan dipanaskan dalam oven selama 36 jam dengan suhu 180 °C. Setelah 36 jam, hasil proses

hydrothermal dikeluarkan dan dibilas dengan aquades kemudian keringkan selama 6 jam dengan suhu 100 °C.

2.3 Proses Ekstraksi SiO₂

Tahap ekstraksi SiO₂ dengan metode sol gel dilakukan dengan menggunakan 120 g *fly ash* yang sudah melalui proses *hydrothermal*. *Fly ash* kemudian dicampur dengan NaOH 4 M sebanyak 160 ml dalam gelas kimia dan diaduk sambil dipanaskan. Selanjutnya, residu dibakar pada suhu 500 °C di dalam *furnace* selama 30 menit, lalu didinginkan hingga temperatur kamar dan diperoleh kristal padat berwarna putih sebagai natrium silikat (Na₂SiO₃). Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui perbedaan kadar SiO₂ antara setelah dengan sebelum penambahan NaOH.

2.4 Pencucian Natrium Silikat dengan Air Demin

Kristal padat yang diperoleh dilarutkan dengan 200 ml air demin dan didiamkan selama 12 jam kemudian disaring dengan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan lalu ditetesi HCl 1M sambil diaduk hingga terbentuk gel-gel putih dan didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya, gel yang dihasilkan disaring dan dicuci dengan air demin beberapa kali lalu dikeringkan dengan oven pada temperatur 120 °C selama 2 jam sehingga diperoleh serbuk silika. Serbuk yang diperoleh akan dihaluskan dengan mortar dan ditimbang. Silika digunakan untuk mengadsorpsi amonium.

2.5 Pembentukan Larutan Standar Amonium

Pembuatan larutan standar amonium dilakukan dengan membuat larutan baku dengan konsentrasi 100 ppm terlebih dahulu. Sebanyak 0,010 g NH₄Cl dilarutkan di dalam labu ukur 100 mL dengan penambahan aquades hingga tanda batas. Larutan baku selanjutnya divariasikan menjadi larutan standar dengan konsentrasi amonium masing-masing sebesar 1; 5; 10; 15; dan 20 ppm. Penentuan panjang gelombang optimum untuk larutan amonium dilakukan dengan cara mengukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada konsentrasi 20 ppm. Panjang gelombang optimum, yaitu panjang gelombang pada absorbansi maksimum.

2.5 Pembentukan Kurva Standar Amonium

Pembuatan kurva standar amonium dilakukan dengan menempatkan larutan amonium klorida pada konsentrasi 1; 5; 10; 15; dan 20 ppm yang masing-masing larutan ditambahkan dengan 15 tetes reagen Nessler. Campuran didiamkan selama 10 menit lalu diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

2.6 Analisis Hasil

2.6.1 Penentuan Massa Optimum dari Adsorben Silika

Penentuan massa optimum dari adsorben silika dilakukan

dengan menimbang serbuk silika sebanyak 0,125; 0,25; 0,5; 0,75 dan 1 g. Masing-masing sampel dimasukkan ke dalam 20 mL limbah cair tahu dan diaduk. Larutan kemudian disaring dengan kertas saring dan filtrat yang dihasilkan masing masing ditambahkan dengan reagen Nessler 15 tetes lalu didiamkan 10 menit. Sampel kemudian diukur dengan spektrofotometri UV-Vis.

2.6.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan menimbang massa optimum silika yang diperoleh dari percobaan sebelumnya lalu dimasukkan ke dalam 20 ml limbah cair tahu dengan variasi waktu kontak selama 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Endapan yang dihasilkan kemudian disaring dengan kertas saring dan ditambahkan 15 tetes reagen Nessler. Setelah didiamkan 10 menit, hasil akhir akan diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik *Fly Ash* Sebelum Optimasi Menggunakan Analisis XRD

Abu terbang (*fly ash*) merupakan butiran halus kehitaman berukuran 45 milimikron hasil pembakaran batu bara.

Tabel 1. Pembacaan Grafik Analisis Hasil Pengujian XRD terhadap Kandungan *Fly Ash*

Nama Sampel	Fly Ash
Σ	163,66
Quartz (%)	32,52
Calcite (%)	0
Clay (%)	16,34
Mineral Lain	
Feldspar (%)	0
Apatite (%)	0
Pyrite (%)	7,42
Dolomite (%)	21,24
Mineral Lain	
Sillimanite (%)	0
Kaliophillite (%)	10,72
Edipote (%)	11,76
Total	100

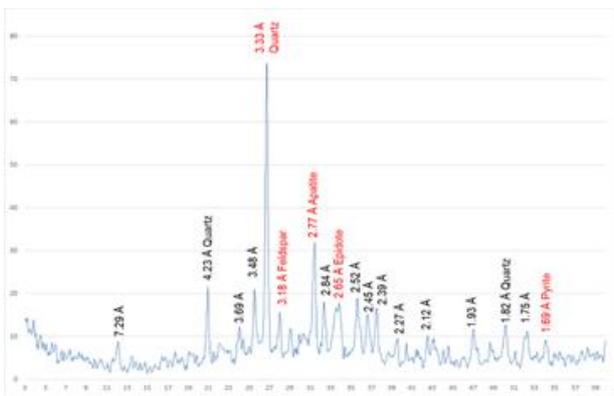
Fly ash mengandung oksida logam berupa SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, dan Na₂O. Kandungan SiO₂ sebanyak 60-70% di dalamnya mengakibatkan *fly ash* sangat

potensial untuk dimanfaatkan sebagai adsorben (Caroles, 2019). *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PLTU Teluk Sirih, Padang, Sumatera Barat. Pengujian melalui metode *X-ray diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui kadar SiO₂ yang dimiliki pada sampel *fly ash*.

Sampel yang akan diujikan harus diratakan terlebih dahulu permukaannya lalu dimampatkan menggunakan alat pressing sebelum dikenai difraksi sinar X. Sudut sinar yang digunakan, yaitu $2\theta = 2,5-600$. Dengan menggunakan metode XRD, *fly ash* terbukti mengandung quartz berupa SiO₂ sebesar 58,35% dengan peak tertinggi pada 2,25° dan intensitas 18,231 Cps. Tingginya kadar SiO₂ tersebut akan dioptimalkan melalui metode *hydrothermal*. Hal ini bertujuan agar silika hasil ekstraksi *fly ash* dapat menyerap amonia pada limbah cair tahu dengan kapasitas yang lebih besar (Hakim, et al., 2019).

3.2 Karakteristik *Fly Ash* Hasil Optimasi Menggunakan Analisis XRD

Proses optimasi kadar silika pada limbah cair tahu dilakukan melalui metode *hydrothermal*. *Hydrothermal* merupakan teknik pengkristalan dalam wadah tertutup dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Peristiwa ini terjadi pada dua atau tiga fase berbeda serta melibatkan pemanasan air (Jindal. M. K and Jha. M, 2015). Metode ini meliputi perendaman *fly ash* menggunakan larutan NaOH 2M dengan rasio 1:10 (b/v NaOH 2M) dan pengadukan selama 12 jam. Proses tersebut dilanjutkan dengan pengovenan selama 36 jam pada temperature 180°C.



Gambar 1. Analisis Hasil Pengujian XRD Terhadap Kandungan *Fly Ash* (Tanpa Optimasi)

Berdasarkan Gambar 1, kadar SiO₂ pada sampel hasil optimasi mengalami kenaikan menjadi 58,35%. Proses optimasi melalui metode *hydrothermal* dengan bantuan NaOH nantinya akan direaksikan dengan HCl agar dapat membentuk endapan pada suasana netral. Apabila pH larutan yang terbentuk kurang dari 7 maka endapan yang terbentuk akan larut kembali. Sedangkan pada suasana basa, endapan yang terbentuk kurang optimal karena ketidak seimbangan jumlah pertukaran ion Na⁺ dengan H⁺ (Simanjuntak et al., 2016).

Tabel 2. Analisis Hasil Pengujian XRD terhadap Kandungan *Fly Ash* Hasil Optimasi

Nama Sampel		<i>Fly Ash</i>
Σ		120,592
Quartz (%)		58,35
Calcite (%)		0
Clay (%)		0
Mineral Lain	Feldspar (%)	10,20
	Apatite (%)	12,75
	Pyrite (%)	6,25
Mineral Lain	Dolomite (%)	0
	Sillimanite (%)	0
	Kaliophillite (%)	0
	Edipote (%)	12,45
Total		100

3.3 Penentuan Kadar Air pada *Fly Ash*

Sampel *fly ash* yang akan diekstrak kandungan silikanya menggunakan metode sol gel harus melalui tahap pembakaran terlebih dahulu. Pada penelitian ini, *fly ash* akan dibakar menggunakan furnace pada temperatur 500°C selama 30 menit.

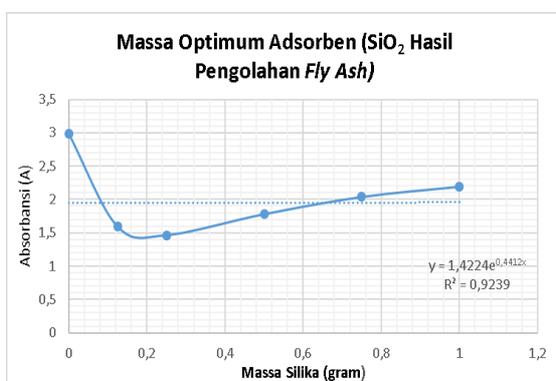
Tabel 3. Standar Kualitas Karbon Aktif

Uraian	Persyaratan Kualitas	
	SNI	SII
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	Maks. 25	Maks. 15
Kadar air (%)	Maks. 15	Maks. 10
Kadar abu (%)	Maks. 10	Maks. 2,5
Kadar karbon terikat (%)	Min. 65	-
Daya serap terhadap I ₂ (mg/g)	Min. 750	Min. 20

Sampel yang dimiliki kemudian diuji karakteristik kadar airnya sebagai salah satu parameter kualitas adsorben. Berdasarkan Tabel 3, diperoleh kadar air sebesar 1,0374%. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* yang dimiliki telah standar baku mutu kualitas adsorben berdasarkan SNI 06-3730-1995 dan SII No. 0258-79. Semakin tinggi kadar air yang terkandung pada *fly ash*, semakin rendah pula efektivitasnya sebagai adsorben.

3.4 Penentuan Massa Optimum Adsorben Terhadap Absorbansi Amonium

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan variasi massa adsorben sebesar 0,125; 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 gram dengan waktu kontak selama 10 menit terhadap 20 ml sampel limbah cair tahu yang ditambahkan 15 tetes reagen Nessler, diperoleh data pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Berat Adsorben Terhadap Absorbansi Amonium

Berdasarkan Gambar 2, hubungan antara massa silika dengan absorbansi mempunyai persamaan $y=1,4224e^{0,4412x}$ dengan nilai korelasi $r=0,9239$. Efektivitas silika dalam menjerap kadar amonium pada limbah cair tahu mencapai titik optimal pada 0,25 gram dengan absorbansi sebesar 0,4646 A. Setelah mencapai titik optimal, efektivitas absorbansi silika terhadap kadar amonium pada limbah cair tahu akan mengalami penurunan karena adanya aglomerasi adsorben

Ketika memasuki titik jenuh, kadar amonium pada adsorben akan lebih besar dibandingkan konsentrasinya yang tersisa dalam limbah (Fahmi & Nurfalih, 2016). Grafik yang menunjukkan hubungan antara massa silika dengan efektivitas absorbansi nantinya akan membentuk garis linear yang konstan karena silika tidak lagi mampu untuk menjerap amonium. Berdasarkan Tabel 4, proses penentuan massa optimum adsorben memiliki persen kesalahan rata-rata sebesar 3,6614%. Hal ini dapat disebabkan karena proses pengovenan yang tidak dapat berjalan kontinyu. Keterbatasan waktu operasional laboratorium mengakibatkan proses pengovenan dibagi menjadi beberapa sesi diikuti penyimpanan di dalam desikator. Kualitas silika di dalam desikator dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya ketidak sempurnaan percobaan.

Tabel 4. Persen Kesalahan Variasi Massa Adsorben Terhadap Adsorbansi Amonium

Massa (gram)	Y Data	Y Hitung	% Kesalahan
0,125	1,596	1,503	5,800
0,25	1,465	1,588	8,444
Massa (gram)	Y Data	Y Hitung	% Kesalahan
0,5	1,779	1,774	0,310
0,75	2,037	1,980	2,774
1	2,1900	2,211	0,978
% Kesalahan Rata-Rata			3,661

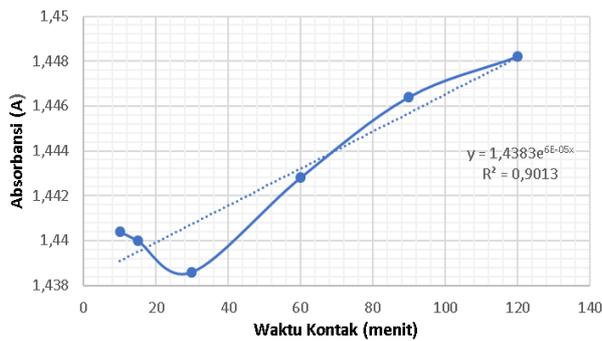
3.5 Penentuan Waktu Kontak Optimum Terhadap Absorbansi Amonium

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan adsorben yang telah di optimasi digunakan massa optimum 0,25 gram dengan variasi waktu kontak sebesar 15; 30; 60; 90; dan 120 menit, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 5. Waktu Kontak Optimum Silika (*Fly Ash* yang Di Optimasi)

Waktu Kontak (menit)	10	15	30	60	90	120	
Absorbansi (A)	I	1,463	1,460	1,446	1,453	1,455	1,457
	II	1,456	1,451	1,444	1,447	1,448	1,448
	III	1,446	1,450	1,443	1,444	1,446	1,447
	IV	1,439	1,439	1,435	1,437	1,438	1,439
	V	1,398	1,400	1,425	1,433	1,445	1,449
Rata-rata	1,440	1,440	1,439	1,442	1,446	1,448	

Data tersebut akan menghasilkan Gambar 3 dengan persamaan $y=1,4383e^{0,00006x}$ dan nilai korelasi (r)=0,9017. Grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa dibutuhkan waktu selama 30 menit untuk mencapai penjerapan optimum oleh silika.



Gambar 3. Waktu Kontak Optimum Silika (*Fly Ash* yang Di Optimasi)

Berdasarkan Gambar 3, setelah melewati waktu optimum, absorbansi sampel limbah cair tahu akan mengalami peningkatan lalu cenderung linear setelah 90 menit. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben yang digunakan telah mencapai titik jenuh atau titik kesetimbangan dalam mengadsorpsi amonium pada limbah cair tahu. Saat mencapai titik kesetimbangan, amonium akan mengalami pelepasan dari permukaan adsorben sehingga efektivitas penjerapan penurunan dibandingkan sebelumnya.

Tabel 6. Persen Kesalahan Variasi Waktu Kontak Adsorben Terhadap Absorbansi Amonium

Waktu (menit)	Y Data	Y Hitung	% Kesalahan
10	1,4404	1,439	0,086
15	1,440	1,438	0,103
30	1,439	1,440	0,099
60	1,443	1,443	0,017
90	1,446	1,446	0,022
120	1,448	1,449	0,077
% Kesalahan Rata-Rata			0,067

Jika dibandingkan dengan efektivitas penjerapan oleh silika dari *fly ash* yang tidak dioptimasi, hasil yang diperoleh menunjukkan perbedaan kualitas yang cukup signifikan. Silika yang dihasilkan tidak memiliki kemampuan penjerapan yang baik, hal ini terbukti dari nilai absorbansi yang berada di atas angka 2. Selain itu, adsorben baru akan mencapai titik optimum ketika menit ke-90. Dua hal tersebut dapat menjadi indikator bahwa silika dari *fly ash* yang tidak dioptimasi memiliki kualitas yang jelek sebagai adsorben amonium pada limbah cair tahu karena tidak efektif maupun efisien.

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, waktu optimum adsorpsi amonium oleh silika hasil pengolahan *fly ash* tanpa

optimasi dapat dihitung melalui persamaan $y = 2,2677e^{-0,0005x}$ dan nilai korelasi $(r) = 0,323$. Rendahnya nilai regresi yang diperoleh menunjukkan bahwa hubungan kedua variabel tidak sempurna. Selain itu, pola grafik yang tidak teratur menunjukkan proses penjerapan tidak berjalan optimal. Melalui percobaan ini, dapat dibuktikan bahwa proses *hydrothermal* tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan jumlah silika yang dihasilkan, tetapi juga meningkatkan kualitas adsorben.

Tabel 7. Waktu Kontak Optimum Silika Komersial

Waktu Kontak (menit)	15	30	60	90	120	
Absorbansi (A)	I	2,317	2,331	2,113	2,037	2,216
	II	2,253	2,216	2,225	2,210	2,219
	III	2,251	2,250	2,225	2,086	2,216
	IV	2,260	2,329	2,227	2,024	2,220
Rata-rata	2,268	2,254	2,205	2,072	2,217	

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui massa dan waktu yang dibutuhkan silika agar mencapai efisiensi adsorpsi optimum. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa massa yang dibutuhkan silika agar mencapai efisiensi adsorpsi kadar amonia optimum adalah 0,25 gram/20 ml limbah cair tahu. Selain itu, waktu kontak yang dibutuhkan silika agar mencapai efisiensi adsorpsi kadar amonia optimum adalah 30 menit. Produk silika hasil pengolahan *fly ash* yang dioptimasi memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan silika hasil pengolahan *fly ash* yang tidak dioptimasi maupun silika komersial.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih kepada LPPM UPN Veteran Yogyakarta yang telah memberikan dana kepada tim peneliti sehingga penelitian berjalan lancar. Terima kasih kepada semua tim baik yang mengerjakan di laboratorium, menganalisa hasil maupun menyusun kelengkapan laporan.

Daftar Pustaka

Caroles, J. D. S. (2019). Ekstraksi Silika Yang Terkandung Dalam Limbah Abu Terbang Batu Bara. *Fullerene Journal of Chemistry*. 4(1), 1-5.
 Fahmiati, Nuryono, & Narsito. (2004). Kajian Kinetika Adsorpsi Cd (II), Ni (II), dan Mg (II) pada Silika Gel

- Termodifikasi 3-Merkapto-1,2,4-triazol. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 3(2), 22-28.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(1), 44-51.
- Jindal, M. K., & Jha, M. (2015). Effect of Process Conditions on Hydrothermal Liquefaction of Biomass. *IJBS Research Paper*, 1(2), 8010-8018.
- Kaswinarni, F. (2007). Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat Dan Cair Industri Tahu Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal Dan Gagak Sipat Boyolali (Postgraduate). Universitas Diponegoro.
- Li, L., Edil, T., & Benson, C. (2009). Properties of Pavement Geomaterials Stabilized with Fly Ash. In *World of Coal Ash (WOCA) Conference*. USA.
- Pengthamkeerati, P., Satapanajaru, T., & Chularuengsoarn, P. (2008). Chemical modification of coal fly ash for the removal of phosphate from aqueous solution. *Fuel*, 87(12), 2469-2476. doi: 10.1016/j.fuel.2008.03.013
- Ratnani, R. D., Hartati, I., & Kurniasari, L. (2011). Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) untuk Menurunkan Kandungan COD (Chemical Oxygen Demond), pH, Bau, dan Warna Pada Limbah Cair Tahu. *Majalah Ilmiah Momentum*, 7(1), 41-47. doi: 10.36499/jim.v7i1.296.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Kamisah, K., Pandiangan, D., Syani, F., Rudy, & Situmeang, T. (2016). The use of Liquid Smoke as A Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous silica from Rice husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal Of Chemistry*, 32(4), 2079-2085. <https://doi.org/10.13005/ojc/320435>
- Supadi. (2009). Dampak impor kedelai berkelanjutan terhadap ketahanan pangan. *Analisis Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian*, 7(1), 87-98. doi: 10.21082/akp.v7n1.2009.87-102.
- Wardhani, E., Sutisna, M., & Dewi, A. (2012). Evaluasi Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Campuran Media Tanam Pada Tanaman Tomat (*Solanum Lycopersicum*). *Jurnal Itenas Rekayasa*, 16(1), 218-8
- Watanabe, Y., Yamada, H., Ikoma, T., Tanaka, J., Stevens, G., & Komatsu, Y. (2012). Preparation of a Zeolite NaP1/hydroxyapatite Nanocomposite and Study of Its Behavior as Inorganic Fertilizer. *Journal Of Chemical Technology And Biotechnology*, 89(7), 963-968. doi: 10.1002/jctb.4185.
- Zhao, Z., Remond, S., Damidot, D., & Xu, W. (2015). Influence Of Fine Recycled Concrete Aggregates On The Properties Of Mortars. *Construction And Building Materials*, 81, 179-186. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.037.21