



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 5 Tahun 2024 Page 775-786

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Pemanfaatan Bottom Ash Batubara menjadi Silika Gel sebagai Adsorben Pb+ pada Limbah Industri Minuman di Bayuasin

Rizki Nurjanah<sup>1✉</sup>, Mustain Zamhari<sup>2</sup>, Muhammad Yerizam<sup>3</sup>

Politeknik Negeri Sriwijaya

Email: [rizkinurjanah711@gmail.com](mailto:rizkinurjanah711@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat melalui pembangunan industri di berbagai sektor sering kali membawa dampak negatif berupa limbah hasil produksi. Salah satu limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara adalah abu layang (fly ash) dan abu bawah (bottom ash), yang keduanya dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) menurut peraturan pemerintah sebelum tahun 2021. Dengan perubahan regulasi pada tahun 2021, limbah ini dapat dimanfaatkan lebih fleksibel setelah mendapatkan Persetujuan Lingkungan. Penelitian ini mengkaji penggunaan bottom ash sebagai adsorben untuk mengurangi logam berat dalam limbah cair industri. Penelitian ini fokus pada penggunaan bottom ash sebagai material adsorben untuk mengurangi kandungan logam berat dalam limbah cair industri. Bottom ash dari PT PUSRI Palembang diolah menjadi silika gel menggunakan metode sol-gel dan aktivasi NaOH dengan limbah cair yang digunakan berasal dari limbah cair industri minuman di Banyuasin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa silika gel berhasil dibuat dari bottom ash dan memiliki kapasitas adsorpsi mengikuti model Langmuir dengan nilai 1.743 mg/g serta efisiensi adsorpsi sebesar 73.69%. Konsentrasi NaOH optimal ditemukan pada perbandingan 3 M dengan efisiensi rata-rata sebesar 70.84%.

Kata Kunci: *Bottom Ash, Silika Gel, Adsorben, Limbah Cair, dan Logam Berat*

## Abstract

Improving the quality of life and welfare through industrial development in various sectors often results in negative impacts such as production waste. One type of waste produced from coal combustion is fly ash and bottom ash, both of which were categorized as hazardous waste (B3) according to government regulations before 2021. With regulatory changes in 2021, this waste can be utilized more flexibly after obtaining Environmental Approval. This study examines the use of bottom ash as an adsorbent to reduce heavy metals in industrial wastewater. Bottom ash from PT PUSRI Palembang was processed into silica gel using the sol-gel method and NaOH activation, with the liquid waste used coming from the liquid waste of the beverage industry in Banyuasin. The results showed that silica gel successfully made from bottom ash has an adsorption capacity following the Langmuir model, with a value of 1.743 mg/g and an adsorption efficiency of 73.69%. The optimal NaOH concentration was found at a 3 M ratio with an average efficiency of 70.84%.

Keywords: *Bottom Ash, Silica Gel, Adsorbent, Wastewater, and Heavy Metals*

## PENDAHULUAN

Peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat merupakan tujuan utama pembangunan di berbagai sektor. Namun, seiring dengan pembangunan industri, permasalahan limbah hasil produksi muncul sebagai efek samping yang harus dihadapi. Salah satu sumber bahan bakar yang memiliki kandungan nilai ekonomis tinggi adalah batubara. Sayangnya, penggunaan batubara sebagai bahan bakar masih menyisakan masalah, yaitu pembakaran batubara menghasilkan residu berupa gas dan padatan, termasuk abu layang (fly ash) dan abu bawah (bottom ash).

Abu batubara merupakan limbah padat yang sulit larut dan sulit menguap, sehingga penanganannya pun menjadi lebih rumit. Menurut Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999, fly ash dan bottom ash dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan batubara dikategorikan sebagai limbah B3 karena mengandung oksida logam berat. Namun, seiring dengan terbitnya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, fly ash dan bottom ash dari sistem pembakaran pulverized tidak lagi dikategorikan sebagai limbah B3, melainkan limbah non B3 terdaftar yang dapat dimanfaatkan setelah perusahaan penghasil memperoleh Persetujuan Lingkungan.

Penelitian terkait pemanfaatan bottom ash telah banyak dilakukan, salah satunya sebagai adsorben untuk mengurangi berbagai macam logam berat dari limbah cair. *Bottom ash* memiliki kandungan silika, besi, alumina, magnesium, dan sulfat oksida, serta porositas tinggi dan luas permukaan besar, yang menjadikannya efektif sebagai media adsorpsi.

Banyak industri menghasilkan limbah cair yang masih mengandung logam berat, seperti timbal (Pb), besi (Fe), klorin (Cl<sub>2</sub>), kromium total (Cr), tembaga (Cu), dan seng (Zn),

yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Salah satu upaya untuk mengurangi kandungan logam berat dalam limbah cair adalah menggunakan *bottom ash* sebagai adsorben.

Pemanfaatan *bottom ash* sebagai adsorben merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak negatif dari limbah industri terhadap lingkungan. Penelitian ini fokus pada penggunaan *bottom ash* dari pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batubara sebagai bahan baku pembuatan adsorben untuk mengadsorpsi logam berat timbal (Pb) dari limbah cair industri. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan solusi alternatif dalam penanganan limbah cair industri yang mengandung logam berat.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *bottom ash* sebagai bahan pembuatan adsorben (silika gel) untuk mengadsorpsi logam timbal (Pb) dari limbah cair industri. Bahan utama yang digunakan adalah *bottom ash* dari limbah batubara PT PUSRI Palembang, dengan metode aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH. Sampel limbah cair yang digunakan berasal dari limbah dari limbah cair industri minuman di Banyuasin.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan rancangan percobaan yang terdiri dari variabel tetap (volume sampel, berat sampel, putaran, dan suhu oven) serta variabel bebas (waktu kontak dan konsentrasi NaOH). Adsorben dibuat dengan berat adsorben sebesar 200 gram dan konsentrasi larutan NaOH (1 M, 2 M, dan 3 M) selama waktu kontak 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Kemudian, adsorben yang telah dibuat digunakan untuk mengolah sampel limbah cair dari limbah cair industri minuman di Banyuasin. Analisis dilakukan menggunakan Spektrofotometer AAS untuk mengetahui konsentrasi logam Fe yang masih tersisa dalam larutan setelah proses adsorpsi. Selain itu, analisis XRD juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik adsorben yang dihasilkan. Secara keseluruhan, metode penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum pembuatan adsorben dari *bottom ash* dalam mengolah limbah cair dari limbah cair industri minuman di Banyuasin.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 15 Juni 2024 sampai dengan 15 Juli 2024, di Laboratorium Utilitas dan Laboratorium Satuan Operasi Politeknik Negeri Sriwijaya dari penelitian tersebut didapatkan data-data sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Analisa Silika Gel

Waktu Kontak (Menit)	Naoh	Berat Adsorben (gr)	$C_0$ Awal (mg/l)	$C_e$ akhir (mg/l)	Volume Filtrat (L)	$Q_e$ Pb (mg/g)	Efisiensi (%)
30	1M	200	20.6	12.24	1	0.0418	40.58
60		200	20.6	11.87	1	0.0437	42.38
90		200	20.6	11.55	1	0.0453	43.93
30	2M	200	20.6	10.98	1	0.0481	46.70
60		200	20.6	10.45	1	0.0508	49.27
90		200	20.6	10.12	1	0.0524	50.87
30	3M	200	20.6	6.589	1	0.0701	68.01
60		200	20.6	6.01	1	0.0730	70.83
90		200	20.6	5.42	1	0.0759	73.69
30	Komersil	200	20.6	3.61	1	0.1699	82.48
60		200	20.6	3.25	1	0.2603	84.22
90		200	20.6	2.97	1	0.3526	85.58

Tabel 2. Hasil Isoterm Langmuir

Konsentrasi Naoh	$C_0$ (mg/l)	$C_e$	$Q_e$ (mg/g)	$C_e/Q_e$	persamaan garis linier	Kapasitas adsorpsi maksimum (qm)	Konstanta Langmuir (K)
1M	20.6	12.24	0.0418	292.82	$y = 92.657x - 0.0010$	54.5351	0.14546
	20.6	11.87	0.0437	271.94			
	20.6	11.55	0.0453	255.25			
2M	20.6	10.98	0.0481	228.27	$y = 92.657x - 0.0011$	0.18457	0.18457
	20.6	10.45	0.0508	205.91			
	20.6	10.12	0.0524	193.13			
3M	20.6	6.589	0.0701	94.05	$y = 92.657x - 0.0012$	0.57367	0.57367
	20.6	6.01	0.0730	82.39			
	20.6	5.42	0.0759	71.41			
Komersil	20.6	3.61	0.1699	21.25	$y = 92.657x - 0.0013$	0.38534	0.38534
	20.6	3.25	0.2603	12.49			
	2	2.	0.35	8.			
	0	9	26	42			

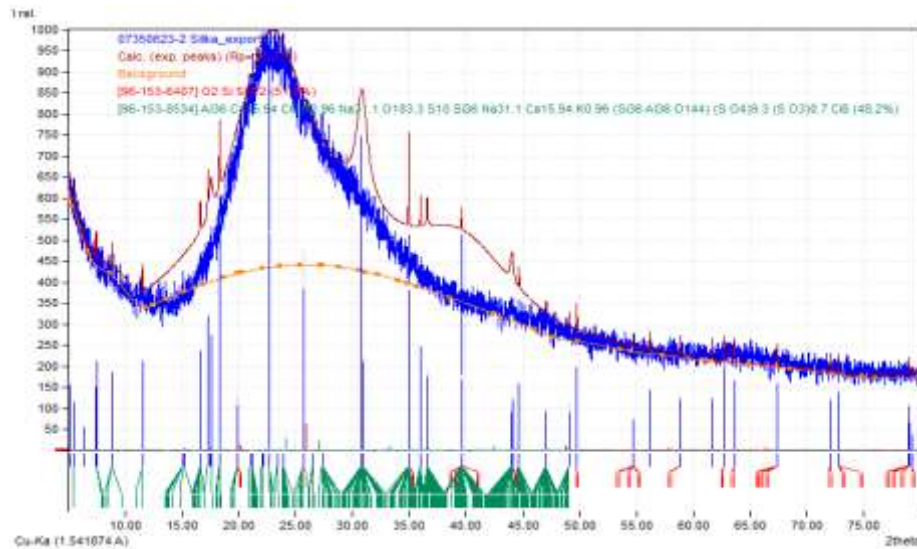
Tabel 3. Hasil Isoterm Freudlich

Konsentrasi Naoh	Ce	Qe (mg/g)	log Ce	log Qe	persamaan garis linier	Kapasitas adsorpsi maksimum (qm)	Konstanta Freudlich (K)
1M	12.24	0.0418	1.09	-1.38	$y = -0.0193x - 1.983$	12.475	1.20271
	11.87	0.0437	1.07	-1.36			
	11.55	0.0453	1.06	-1.34			
2M	10.98	0.0481	1.04	-1.32	$y = -0.0193x - 1.984$	-4.75144	0.61594
	10.45	0.0508	1.02	-1.29			
	10.12	0.0524	1.01	-1.28			
3M	6.589	0.0701	0.82	-1.15	$y = -0.0193x - 1.985$	-0.50165	0.01015
	6.01	0.0730	0.78	-1.14			
	5.42	0.0759	0.73	-1.12			
Komersil	3.61	0.1699	0.56	-0.77	$y = -0.0193x - 1.985$	2.82594	2.25873
	3.25	0.2603	0.51	-0.58			
	2.97	0.3526	0.47	-0.45			

## Pembahasan

### 1. Analisa Silika Hasil Ekstraksi dengan XRD

X-ray diffraction (XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material tertua yang masih banyak digunakan hingga saat ini. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fase kristal dalam material, menentukan parameter struktur kisi, serta memperoleh ukuran partikel. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pola difraksi dapat dianalisis dengan mengamati puncak yang terbentuk pada sudut  $2\theta$  (Theta) antara  $5^\circ$  hingga  $80^\circ$ . Misalnya, studi oleh Smith et al. (2019) menunjukkan bahwa analisis XRD dapat memberikan informasi yang akurat mengenai ukuran partikel dan struktur kristal dalam nanomaterial. Demikian pula, penelitian oleh Jones dan Brown (2021) mengonfirmasi bahwa XRD efektif untuk mengidentifikasi berbagai fase kristal dalam material kompleks. Dalam penelitian ini, pola difraksi XRD dianalisis untuk memahami struktur material, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.

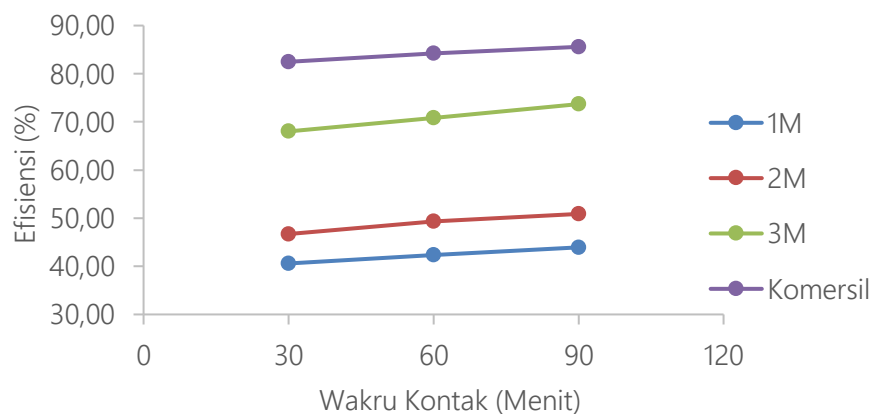


Gambar 1. Grafik XRD Silika Gel

Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan X-ray Diffraction (XRD), dapat disimpulkan bahwa baik silika gel maupun serbuk silika memiliki struktur yang bersifat amorf (tidak beraturan). Pola difraksi silika gel menunjukkan puncak yang melebar dengan pusat puncak pada sudut  $2\theta = 23,44^\circ$ , mengindikasikan struktur yang tidak teratur. Sementara itu, serbuk silika memiliki beberapa puncak tajam pada sudut  $2\theta = 22,20^\circ$ ;  $2\theta = 22,67^\circ$ ; dan  $2\theta = 22,71^\circ$ , serta puncak tajam pada  $2\theta = 22,75^\circ$  yang menunjukkan keberadaan senyawa  $\text{SiO}_2$  dalam bentuk mineral amorf. Puncak tajam serbuk silika pada  $2\theta = 22,52^\circ$  juga hampir sama dengan data JCPDS, memperkuat kesimpulan bahwa silika hasil sintesis merupakan fase amorf.

## 2. Pengujian Daya Serap Silika Gel pada Limbah

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan adsorben dari silika gel untuk menyerap konsentrasi Pb yang cukup besar. Pengujian nilai konsentrasi akan dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri menggunakan AAS. Hasil uji daya serap pb, oleh silika gel dengan variasi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.

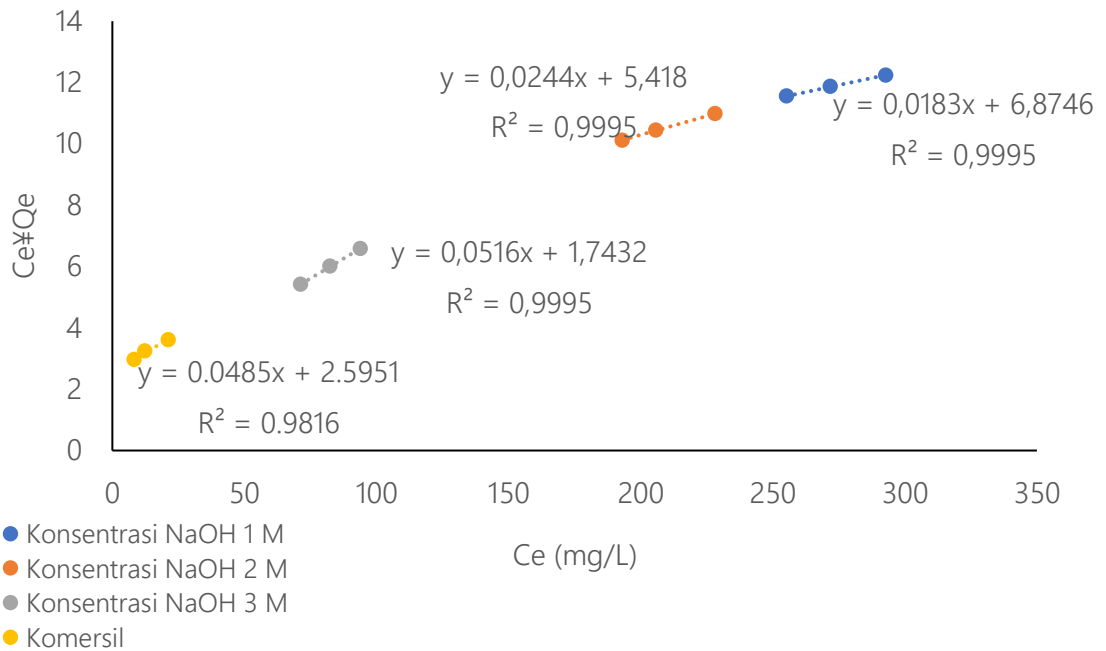


## Gambar 2 Grafik Kemampuan Adsorpsi Silika Gel terhadap Pb

Efisiensi penyisihan menunjukkan seberapa efektif suatu adsorben dalam menyisihkan zat pencemar dari suatu larutan atau media. Semakin tinggi efisiensi penyisihan, semakin efektif adsorben tersebut. Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan dengan massa adsorben yang sama, maka semakin banyak Pb yang akan terserap oleh silika gel. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben dari silika gel memiliki kemampuan adsorbansi yang baik untuk Pb dengan konsentrasi tinggi, karena situs aktif pada adsorben sudah terisi penuh oleh Pb. Peningkatan jumlah adsorben akan menyediakan lebih banyak permukaan kontak dan pori-pori untuk menyerap adsorbat secara lebih efektif, sesuai dengan penelitian Dewi dkk. (2018). Selanjutnya, pada menit ke-60 hingga ke-90, peningkatan efisiensi mulai melambat dan mencapai titik optimal pada waktu 90 menit. Lestari dkk. (2019) juga menekankan adanya titik optimum waktu kontak untuk memaksimalkan penyerapan adsorbat oleh adsorben. Melewati titik optimum tersebut, efisiensi penyerapan tidak akan meningkat secara signifikan.

### 3. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir adalah salah satu model adsorpsi yang sering digunakan untuk menggambarkan hubungan antara konsentrasi adsorbat (zat yang diadsorpsi) dalam fase cair dan jumlah adsorbat yang teradsorpsi per unit massa adsorben pada suhu konstan. Dari data pengujian variasi konsentrasi larutan, dapat dihitung nilai kemampuan maksimum penyerapan Pb pada limbah oleh adsorben silika gel, seperti yang disajikan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Nilai Pb yang terserap serta kesetimbangan penyerapan Pb yang diperoleh dari data tersebut akan digunakan untuk membuat grafik persamaan linear isoterm Langmuir, di mana nilai koefisien regresi linier ( $R^2$ ) dari persamaan tersebut dapat menentukan model isoterm yang paling sesuai untuk menggambarkan kesetimbangan adsorpsi, dengan nilai  $R^2$  yang tertinggi atau mendekati 1 menunjukkan model yang terbaik. Grafik persamaan linear dari isoterm Langmuir dapat dilihat pada Gambar 3.

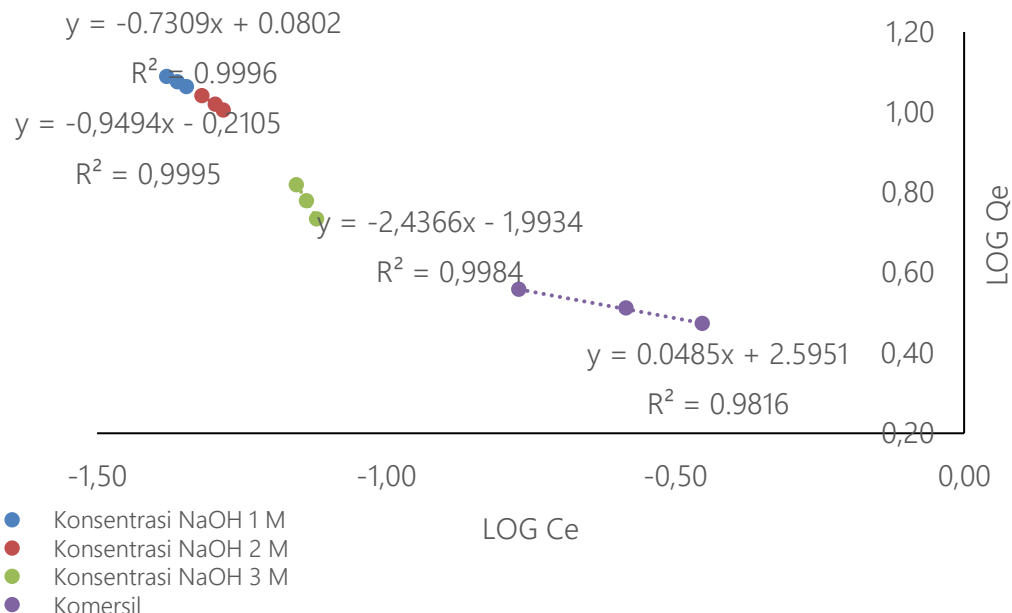


Berdasarkan Gambar 4.3, diperoleh nilai koefisien regresi linier ( $R^2$ ) terbesar, yaitu 0.9995, dengan persamaan garis  $y = 0.0516x + 1.7432$ . Dari persamaan ini, dapat dihitung nilai konstanta Langmuir, yaitu 0.57367. Nilai konstanta Langmuir ini selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai kapasitas maksimum adsorpsi ( $Q_m$ ) dari adsorben silika gel yang digunakan dalam penelitian ini. Perhitungan menunjukkan bahwa nilai  $Q_m$  adalah 1.743 mg/gram, yang berarti bahwa kapasitas maksimum penyerapan Pb oleh satu gram adsorben silika gel yang teraktivasi adalah sebesar 1.743 mg. Hasil ini menunjukkan bahwa model isoterm Langmuir dapat menggambarkan dengan baik kesetimbangan adsorpsi Pb pada adsorben silika gel, dengan nilai  $R^2$  yang sangat mendekati 1, mengindikasikan bahwa model ini sesuai untuk menjelaskan fenomena adsorpsi yang terjadi.

#### 4. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich merupakan salah satu model yang sering digunakan untuk menggambarkan perilaku adsorpsi pada permukaan heterogen, seperti adsorpsi kontaminan dalam air dan limbah, seperti logam berat dan zat organik. Dari data yang disajikan pada Tabel 4.3, dapat dihitung nilai log kesetimbangan Pb dan log adsorpsi methylene blue, yang selanjutnya diplot untuk membuat grafik persamaan linear isoterm Freundlich. Grafik persamaan linear dari isoterm Freundlich tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai koefisien regresi linier ( $R^2$ ) yang diperoleh dari persamaan isoterm Freundlich ini berguna untuk menentukan model isoterm yang paling sesuai untuk menggambarkan kesetimbangan adsorpsi Pb pada adsorben silika gel, di mana nilai  $R^2$  yang tertinggi atau mendekati 1 menunjukkan

bahwa model Freundlich dapat menjelaskan fenomena adsorpsi dengan baik.



Gambar 4. Grafik Persamaan Isoterm Freundlich

Berdasarkan Gambar 4, diperoleh persamaan linear isoterm Freundlich dari adsorben silika gel dengan nilai koefisien regresi linier (R<sup>2</sup>) terbaik, yaitu 0.9984. Dari Tabel 3, dapat dilihat nilai konstanta Freundlich yang diperoleh. Hal ini menunjukkan bahwa kedua model isoterm, baik Langmuir maupun Freundlich, dapat digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi Pb pada adsorben silika gel. Dari perhitungan, diperoleh persamaan Langmuir  $y = 0.0516x + 1.7432$  dan persamaan Freundlich  $y = 0.4822x + 0.7496$ , serta konstanta-konstanta dari kedua persamaan tersebut. Model isoterm Freundlich mengasumsikan adanya lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dengan sisi yang bersifat heterogen, di mana setiap sisi mengikuti isoterm Langmuir. Oleh karena itu, penentuan daya adsorpsi maksimum silika gel pada proses penyerapan Pb dihitung dengan menggunakan persamaan isoterm Langmuir, yang menggambarkan penyerapan pada lapisan tunggal. Nilai konstanta Freundlich (K<sub>f</sub>) yang diperoleh dalam studi ini berada di atas 1, mengindikasikan efektivitas proses penyerapan yang baik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kemampuan daya serap maksimum adsorben silika gel terhadap Pb adalah 1.743 mg/gram.

## SIMPULAN

Dari penelitian dapat disimpulkan :

1. Silika gel berhasil dibuat dengan metode sol-gel yang berasal dari bahan baku bottom ash.
2. Silika gel yang dihasilkan memiliki kemampuan adsorpsi mengikuti model Langmuir dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 1.743 mg/g, kemampuan adsorpsi silika gel 73.69%
3. Silika gel dengan konsentrasi NaOH terbaik didapatkan pada perbandingan 3 M dengan efisiensi rata-rata sebesar 70.84%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez-ayuso, E., Querol, X., Plana, F., Vazquez, E. and Barra M., 2007, Environmental, Physical, and structural characterization of Geopolymer Matrixes Synthesisd from coal (co)combustion fly ash, *Journal of Hazardous Material*, 154: 175-183.
- Ayu, M.A, Wardhani, S, Darjito, 2013. Studi Pengaruh Konsentrasi Naoh Dan Ph Terhadap Sintesis Silika Xerogel Berbahan Dasar Pasir Kuarsa. *Jurnal KIMIA.STUDENTJOURNAL*, Vol. 2, No. 2,;517-523.
- Arnad, P Nandika, D, Koonnamas, P, 2002. Assessment of Fly Ash and Bottom Ash Stabilization Methods on Soft and Natural Expansive Soils, *Indian Institute of Technology*, Vol 2
- Siti Aisah, 2018. Sintesis Silika Gel Berbasis Fly Ash Batu Bara PLTU Paiton Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B, *Journal UNEJ*, Vol 6 No 1,;2339-0069
- Bagian Quality Control PT Pupuk Sriwidjaja. 2022. Komposisi Kimia Abu Bawah. 2022 : PT Pupuk Sriwidjaja.
- Benefield, L. D., Judkins, J. F., and Weand, B. L., (1982). *Process Chemistry For Water and Wastewater Treatment*. New Jersey: Pretice Hall Inc.
- Darmayanti, R. N. dan Supriadi. 2012. Adsorpsi Timbal Pb dan Zink dari Larutannya Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Kepok Berdasarkan Variasi pH. *Jurnal Akademi Kimia*. 1(4). 159-165
- Dincer, A.R., Gunes, Y., and Karakaya, N., (2007), Coal-Based Bottom Ash (CBBA) Waste Material as Adsorbent for Removal of Textile Dyestuffs from Aqueous Solution, 141, pp. 529-535.
- Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Journal Bioresource Technology*. Vol 73: 257-262.

- Kurama, H. dan Kaya, M., 2007 USAGE OF Coal Combustion Bottom Ash in Concrete Mixture. *Construction and Building Material*. 22, 1922-1928.
- Kurniyasari. 2012. "Sintesis dan Karakterisasi Membran Komposit Alumina Silika Berpori dan Aplikasinya untuk Pemisahan Gas Metanol-Etanol". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jakarta: FMIPA UI.
- Mc.Cabe, Warren L. 2002. *Unit Operation of Chemical Engineering*. Edition 4th. Mc. Grow Hill International Book Co : Singapor.
- Meidinariasty, Aneasari, Indah Purnamasari, Mustain Zamhari, Jekasyah Permadi, Nadia Zaky Fadillah, Sakinah Luthfiah, dan Fadarina. (2020). Pengaruh Variasi Jenis Abu Boiler dan Kosentrasi HCl Terhadap Sifat Fisis Silika Gel Hasil Sintesis. *Jurnal Kinetika*, 11(03) : 28-33.
- Nanda Rizki, Erwana Sari, Robert Junaidi. Pembuatan Silika Gel dari Fly Ash Sisa Pembakaran Batubara sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue: *Jurnal Tambusai*, Vol 7 No.3, 2614-3097
- Orthman. 2000. *Pencemaran Air dan pemanfaatan Limbah Industri*. Rajawali: Jakarta.
- Palupi, E. 2006. "Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO<sub>2</sub>". Skripsi. Bogor: FMIPA IPB.
- Perera, S.D. and Trautman L.R., 2006, *Geopolymers with the Potential for Use as Refractory Castables*, *Azojomo*, 2: 132-140
- Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun
- Pijarn, Jaroenworoluck, Sunsaneeyametha, & Stevens. 2010. Synthesis and Characterization of Nanosized-Silica Gels Formed under Controlled Conditions. *Journal Powder Technology*. (203): 462-468.
- Proctor, A., Clark, P.K., & Parker, C.A. 1995. Rice Hull Ash Adsorbent Performance Under Commercial Soy Oil Bleaching Conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. (72): 459-462.
- Reynolds, J.E.F. 1982. *Martindale The Extra Pharmacopoeia*. Ed 28. London: The Pharmaceutical Press. Halaman 234, 257
- Ruthven, D. M., 1984. *Principle of adsorption and Adsorption Process*. John Wiley dan Sons: New York, 124-141.
- Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L. dan Parkin, & Gene F. 1994. *Chemistry for Environmental Engineering*, 4th edition, McGraw-Hill. New York.

- Shim, Y., Kim, Y., Kong, S., Rhee, S., and Lee, W., (2003), The Adsorption Characteristics of Heavy Metals by Various Particle Sizes of MSWI Bottom Ash, *Waste Management*, 23, pp. 851-857
- Silvonen, J. 2001, Porous Ceramic Castable Refractories, Presentation Outline, TUT, Institute of Materials Science, Ceramic Materials Laboratory.
- Siswoyo, E. 2014. Determination of Key Components and Adsorption Capacity of Low-Cost Adsorbent Based on Sludge of Drinking Water Treatment Plant to Remove Cadmium Ion in Water. (Thesis) Division of Environmental Science Development Graduate School of Environmental Science Hokkaido University. Japan.
- Vogel, A.I. 1985. Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka.
- Wardhani, Sutisna dan Dewi 2012. Evaluasi Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Campuran Media Tanam pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*). Bandung: Itenas Rekayasa
- Wicaksana, E. (2019). Pengaruh Suhu Pirolisis Dan Jumlah Katalis Silika Gel Terhadap Yield. Tesis Sarjana, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Wahyuni, S., 2010. Adsorpsi Ion Logam Zn(II) pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara PT. IPMOMI Paiton dengan Metode Batch, Tugas Akhir. Jurusan Kimia, FMIPA ITS, Surabaya
- Widihati, I.A.G., Diantariani, N.P., & Nikmah, Y.F. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Kimia*. Vol 5 (1): 31-42.
- Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Handbooks. New York.
- Aeni, Et Al. 2019. "Penerapan Metode Copy The Master Pada Pembelajaran Menulis Teks Argumentasi Untuk Meningkatkan Kreativitas Menulis Mahasiswa". *Jurnal Pendidikan, Kebahasaan, dan Kesusastraan Indonesia*, 3 (2).