

Optimalisasi Potensi Limbah Alat Gelas sebagai Adsorben Limbah Logam Berat Fe, Cd, Pb dan Mn Skala Laboratorium

Melisa Weno Gusthia^{1*}, Fatiyah Aghni Yati Nurmi¹, Sefina Rahmatunisa¹, Muldarisnur^{1,2}

¹Laboratorium Sentral, Universitas Andalas, Limau Manis Padang, Indonesia

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 20 Oktober 2025
Direvisi: 12 Desember 2025
Diterima: 14 Februari 2026

Kata kunci:

Adsorben
Adsorpsi
Alat Gelas
Limbah
Logam Berat

Keywords:

Adsorbent
Adsorption
Glassware
Waste
Heavy Metals

Penulis Korespondensi:

Melisa Weno Gusthia
Email: wenomelisa@gmail.com

ABSTRAK

Aktivitas laboratorium kimia menghasilkan limbah cair yang mengandung bahan berbahaya, termasuk logam berat seperti Fe, Cd, Pb, dan Mn, yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan pemanfaatan limbah alat gelas laboratorium sebagai adsorben alternatif ramah lingkungan untuk mengurangi kadar logam berat pada limbah cair skala laboratorium. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan limbah alat gelas, proses penggerusan, pengayakan, dan aktivasi adsorben melalui perlakuan kimia (HNO_3 dan HCl-HNO_3), pengeringan, kalsinasi, serta penambahan NaOH untuk membuka pori adsorben. Karakterisasi material dilakukan menggunakan SEM, FTIR, dan BET untuk mengamati morfologi dan luas permukaan pori. Hasil awal menunjukkan bahwa aktivasi tiga tahap mampu meningkatkan kualitas pori adsorben sehingga siap digunakan dalam proses adsorpsi. Uji adsorpsi logam berat dilakukan dengan variasi waktu dan massa adsorben kemudian dianalisis menggunakan Flame AAS serta dikarakterisasi kembali dengan SEM-EDX, FTIR, dan BET. Hasil FTIR membuktikan bahwa adsorben mengandung senyawa SiO_2 yang berpotensi memiliki pori karena struktur susunan senyawanya. Pada hasil karakterisasi BET diperoleh nilai surface area 0 yang membuktikan bahwa adsorben memiliki ukuran pori yang sangat kecil atau mikropori. Hasil pengukuran Flame AAS menunjukkan bahwa adsorben mampu mengadsorpsi logam berat dengan persentase adsorpsi diatas 85%.

Chemical laboratory activities produce liquid waste containing hazardous materials, including heavy metals such as Fe, Cd, Pb, and Mn, which have the potential to pollute the environment if not managed properly. This study aims to optimize the use of laboratory glassware waste as an environmentally friendly alternative adsorbent to reduce heavy metal levels in laboratory-scale liquid waste. The research stages include collecting glassware waste from various laboratories, grinding, sieving, and activating the adsorbent through chemical treatment (HNO_3 and HCl-HNO_3), drying, calcination, and adding NaOH to open the adsorbent pores. Material characterization was carried out using SEM, FTIR, and BET to observe the morphology and surface area of the pores. Initial results showed that the three-stage activation was able to improve the quality of the adsorbent pores so that it was ready for use in the adsorption process. In the next stage, heavy metal adsorption tests were carried out with variations in time and mass of the adsorbent, then analyzed using Flame AAS and re-characterized with SEM-EDX, FTIR, and BET. The results using FTIR can be proven that the adsorbent contains SiO_2 compounds that have the potential to have pores due to the structure of the compound. The results of the BET characterization obtained a surface area value of 0, which proves that the adsorbent has a very small pore size, also called micropores. The results of Flame AAS measurements show that the adsorbent is able to adsorb heavy metals with an adsorption percentage above 85%.

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Kegiatan laboratorium kimia sangat erat kaitannya dengan penggunaan bahan kimia yang bersifat asam, korosif, dan toksik. Aktivitas ini secara rutin menghasilkan limbah cair yang mengandung bahan berbahaya, termasuk logam berat seperti besi (Fe), cadmium (Cd), timbal (Pb), dan mangan (Mn) (Ariani & Rahayu, 2016). Keberadaan logam berat dalam limbah laboratorium menjadi perhatian serius karena sifatnya yang persisten, tidak dapat terdegradasi secara alami, serta berpotensi menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia dan lingkungan apabila tidak dikelola dengan tepat. Upaya pengolahan limbah laboratorium umumnya dilakukan melalui kerja sama dengan pihak ketiga. Namun, sebelum limbah diserahkan, diperlukan teknologi alternatif yang mampu meminimalkan volume dan konsentrasi logam berat dalam limbah. Salah satu pendekatan yang dinilai efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan adalah proses adsorpsi, yaitu mekanisme penyerapan ion logam pada permukaan material tertentu (Marjuki et al., 2018; Yohana & Destiarti, 2018).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan material alami maupun limbah industri sebagai adsorben logam berat, antara lain arang ampas tebu, keramik bekas, dan zeolit sintetis (Adli, 2012; Nurmi, 2021). Akan tetapi, pemanfaatan limbah alat gelas laboratorium masih jarang dieksplorasi, padahal material ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti stabilitas termal dan kimia yang baik, sifat non-toksik, serta potensi penggunaan berulang. Limbah alat gelas yang selama ini tidak dimanfaatkan dapat menjadi sumber material alternatif dengan nilai tambah bagi keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan limbah alat gelas laboratorium sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat (Fe, Cd, Pb, dan Mn) pada skala laboratorium (Ali et al., 2020). Tahapan penelitian meliputi proses aktivasi material, karakterisasi dengan instrumen analisis modern, serta uji kemampuan adsorpsi. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengelolaan limbah laboratorium yang lebih efisien, serta menjadi dasar pengembangan metode standar pengolahan limbah berbasis material sisa laboratorium.

II. METODE

2.1 Aktivasi Adsorben

Bahan yang digunakan adalah limbah alat gelas, limbah logam berat, HCl, HNO₃, NaOH. Limbah alat gelas direndam dalam larutan HNO₃ 1 M, kemudian dilakukan pengadukan dan pemanasan pada suhu 30°C selama 2 jam. Setelah itu, adsorben dinetralkan hingga mencapai pH 7. Dilanjutkan dengan perendaman dalam campuran HCl : HNO₃ (3:1) selama 30 menit, lalu kembali dinetralkan pada pH 7. Adsorben dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam, kemudian dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 400°C selama 2 jam. Proses aktivasi limbah alat gelas sebagai adsorben menggunakan HCl dikarenakan HCl mampu menghilangkan berbagai senyawa organik atau pengotor lainnya, membesihkan pori-pori dan memperluas permukaan limbah alat gelas sehingga efektif dan efisien digunakan sebagai adsorben (Nurbaeti & Kusumastuti, 2019)

2.2 Proses Adsorpsi Logam Berat

Tahap adsorpsi dilakukan dengan variasi parameter, meliputi waktu kontak perendaman, massa adsorben yang digunakan, dan suhu perendaman. Sampel limbah cair laboratorium dianalisis kadar logamnya sebelum dan sesudah perlakuan adsorpsi menggunakan Flame AAS.

2.3 Karakterisasi Adsorben

Adsorben sebelum dan sesudah proses adsorpsi dikarakterisasi kembali dengan SEM-EDX, FTIR, dan BET untuk mengetahui perubahan morfologi, gugus fungsi, dan luas permukaan pori.

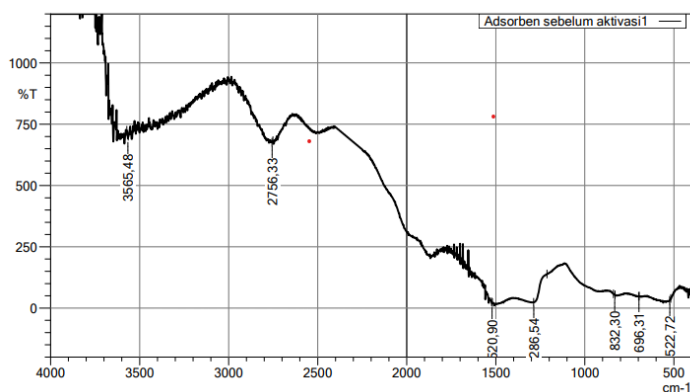
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Ekstraksi Sampel

Hasil yang telah diperoleh pada penelitian ini adalah limbah alat gelas laboratorium yang terbungkalai telah dikumpulkan dan bisa dimanfaatkan sebagai adsorben limbah logam berat laboratorium. Limbah alat gelas tersebut dikumpulkan dari semua laboratorium di lingkungan UPT. Laboratorium Sentral dengan penggerusan, pengayakan dan proses aktivasi. Aktivasi diperlukan karena setelah dilakukan karakterisasi menggunakan SEM, FTIR, dan BET belum terlihat pori dan luas permukaan pori yang diinginkan. Aktivasi dilakukan sebanyak tiga tahap. Aktivasi pertama dilakukan menggunakan HNO_3 1 M disertai pengadukan dan pemanasan dengan suhu 30°C selama 2 jam. Setelah itu dilanjutkan dengan proses penetralan pH adsorben sampai pH = 7. Tahapan aktivasi kedua dilakukan dengan penambahan $\text{HCl} : \text{HNO}_3$ (3 : 1) dengan perendaman selama 30 menit. Kemudian dilakukan penetralan pH adsorben kembali sampai pH 7. Proses selanjutnya dilakukan pengeringan adsorben menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 12 jam. Tahapan aktivasi terakhir dilakukan kalsinasi menggunakan furnace dengan suhu 400°C selama 2 jam. Kemudian Adsorben ditambahkan NaOH untuk membuka pori adsorben tersebut. Adsorben telah selesai diaktivasi dan siap digunakan untuk proses adsorpsi dan dikarakterisasi.

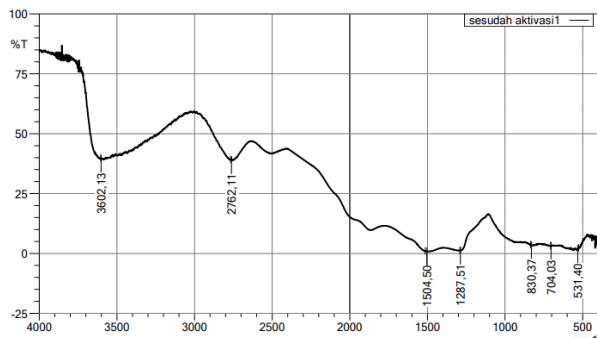
3.2 Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui ikatan kima yang terdapat pada adsorben. Hasil karakterisasi FTIR adsorben sebelum aktivasi dapat dilihat pada Gambar 1. ikatan yang muncul pada bilangan gelombang $1520,90\text{ cm}^{-1}$, $522,72\text{ cm}^{-1}$, $832,30\text{ cm}^{-1}$, $696,31\text{ cm}^{-1}$ merupakan ikatan O-Si-O. Serapan pada $1286,54\text{ cm}^{-1}$ merupakan ikatan Si-OH *stretching*. Serapan pada 3565 cm^{-1} merupakan ikatan -OH dari gugus hidroksil.



Gambar 1 Karakterisasi FTIR adsorben sebelum aktivasi

Hasil karakterisasi FTIR adsorben sebelum aktivasi dapat dilihat pada gambar 2. ikatan yang muncul pada bilangan gelombang $1504,50\text{ cm}^{-1}$, $531,40\text{ cm}^{-1}$, $830,37\text{ cm}^{-1}$, $704,03\text{ cm}^{-1}$ merupakan ikatan O-Si-O. Serapan pada $1287,51\text{ cm}^{-1}$ merupakan ikatan Si-OH *stretching*. Serapan pada $3602,13\text{ cm}^{-1}$ merupakan ikatan -OH dari gugus hidroksil. Spektrum yang dihasilkan dari karakterisasi menggunakan FTIR terlihat bahwa adanya ikatan O-Si-O yang menandakan bahwa adanya pori pada adsorben tersebut (Ali et al., 2020). Namun, pada adsorben yang belum diaktivasi dapat dilihat bahwa spektrum yang dihasilkan belum terlalu bersih dari pengotor karena spektrum yang dihasilkan belum halus. Pada hasil karakterisasi FTIR spektrum yang dihasilkan dari karakterisasi adsorben sesudah aktivasi juga terdapat ikatan O-Si-O yang menandakan adanya pori dan spektrum yang dihasilkan lebih halus.



Gambar 2 Karakterisasi FTIR adsorben sesudah aktivasi

3.3 Karakterisasi BET

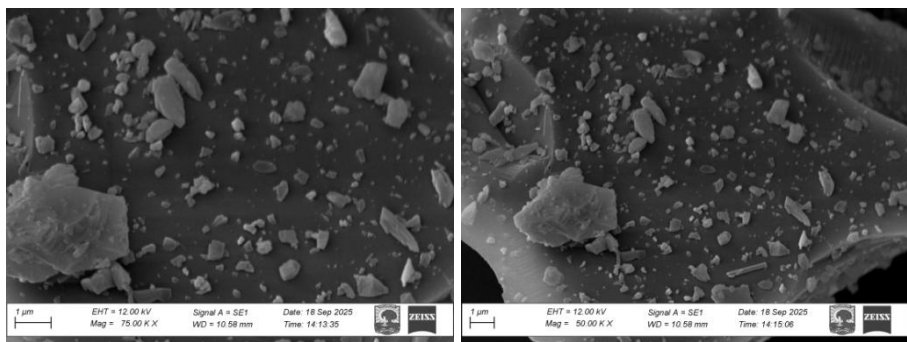
Karakterisasi BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan (Surface Area) dari adsorben, ukuran/diameter pori serta volume pori. Hasil karakterisasi BET adsorben sebelum aktivasi dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil Surface Area adsorben sebelum aktivasi bernilai 0,0000 m²/g, sehingga dapat diartikan bahwa adsorben sebelum aktivasi ini belum memiliki pori.

Analysis Data											
Sample	ID	BET-01	Weight	0.5494g							
	Name	BET-01		Sebelum Aktivasi							
Analysis	{cd5aa945-9a8e-4af4-a26e-81e559abc596}										
	Data ID	N2 full isotherm									
	Operator	AP	Date	09/12/2025			Duration	156.73min			
	Instrument	St 2 on NOVA 800 [s/n:1050049711]			Firmware			1.03			
	Comments:										
	Ambient Temp.	29.11 °C	Volumetric Mode	NOVA Mode			Cell ID	B6 FR2			
	Sample Volume	0.142cm³		Measured				9 mm with filler rod			
	Thermal Delay	180sec	p-Mode	Monitor							
	Adsorbate	Name		Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g/mol			Cross Sectional Area	16.2 Å²/molecule	
		Non-Ideality		6.58e-05 1/Torr		77.35K					
Degas Information	Vacuum Degassing										
	Type	AP									
	Operator	Sebelum Aktivasi									
	Description	Heat to 300.0 °C at 10.0 °C/min then hold for 180 min									
Multipoint BET Summary/Results											
Isotherm Branch	Adsorption		Slope	-12753.4			Intercept	1826.62			
	Correlation coeff., r			0.525054				0.000 m²/g			

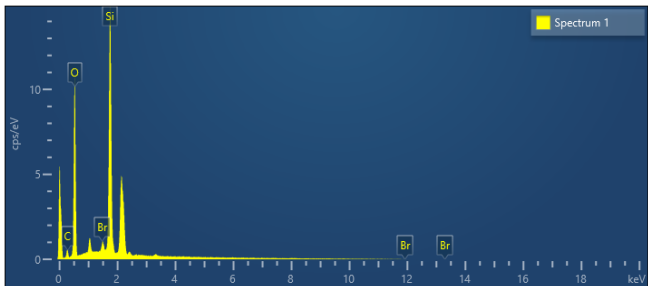
Gambar 3 Karakterisasi BET adsorben sebelum aktivasi

3.4 Karakterisasi SEM-EDX

Karakterisasi SEM dilakukan untuk melihat morfologi adsorben limbah alat gelas laboratorium. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4 dimana tidak terdapat pori pada permukaan adsorben.



Gambar 4 Karakterisasi SEM



Gambar 5 Hasil EDX adsorben sebelum aktivasi

EDX dilakukan untuk mengetahui unsur kimia yang terdapat pada adsorben. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX dapat dilihat bahwa adanya unsur - unsur Si dan O yang merupakan unsur - unsur yang berpotensi membentuk pori ketika berikatan. Adanya unsur - unsur yang berpotensi membentuk pori ini, maka limbah alat gelas ini dapat dimanfaatkan potensinya sebagai adsorben limbah logam di laboratorium (Ali et al., 2020). Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Aninda, adsorpsi limbah logam berat Mn menggunakan pecahan keramik bekas diperoleh penurunan kadar limbah logam Mn sebesar 90,02 %. Pada penelitian ini diusung penggunaan limbah alat gelas karena kandungan yang dimiliki limbah alat gelas mirip dengan pecahan keramik yaitu kandungan SiO_2 yang tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai adsorben (Puari, 2016).

Tabel 1 Hasil EDX adsorben sebelum aktivasi

Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	13.81	0.61	20.63
O	K series	52.35	0.43	58.69
Si	K series	31.58	0.29	20.17
Br	L series	2.25	0.14	0.50
Total		100.00		100.00

3.5 Hasil Pengukuran Konsentrasi Logam Setelah Adsorpsi menggunakan Flame AAS

Setelah dilakukan adsorpsi pada larutan limbah laboratorium dengan konsentrasi awal 5 mg/L dilakukan kembali pengukuran konsentrasi larutan limbah tersebut menggunakan Flame AAS dan diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 2 Variasi massa adsorben

Massa Adsorben	Konsentrasi awal	Konsentrasi setelah adsorpsi			
		Logam Pb	Logam Cd	Logam Fe	Logam Mn
0	5 mg/L	0,5000	0,0500	0,5000	0,5000
0,5	5 mg/L	0,5874	0,6113	0,8741	0,7158
1	5 mg/L	0,3351	0,4115	0,7213	0,6425
2	5 mg/L	0,2715	0,3702	0,6871	0,5112
Rata-rata % Adsorpsi		91,53	92,785	86,0875	88,1525

Tabel 3 Variasi Waktu Adsorpsi dengan massa adsorben optimal 2 gram

Waktu Adsorpsi (menit)	Konsentrasi awal	Konsentrasi setelah adsorpsi			
		Logam Pb	Logam Cd	Logam Fe	Logam Mn
0	5 mg/L	0,5000	0,0500	0,5000	0,5000
30	5 mg/L	0,7015	0,7325	1,1207	0,9745
60	5 mg/L	0,4158	0,4327	0,7562	0,6785
90	5 mg/L	0,3974	0,4295	0,7359	0,6613
Rata-rata % Adsorpsi		89,5265	89,9265	86,686	88,1785

Melalui pengukuran konsentrasi menggunakan Flame AAS dapat disimpulkan bahwa adsorben limbah alat gelas mampu serta efektif digunakan dalam penanganan limbah logam berat laboratorium karena mampu mengadsorpsi limbah dengan persentase adsorpsi diatas 85%. Hasil analisis menggunakan Flame AAS menunjukkan adanya penurunan konsentrasi yang lebih besar dari Pb dan Cd setelah proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan ukuran jari-jari ion dari kedua logam tersebut lebih besar dibandingkan logam lainnya, sehingga menyebabkan adsorpsi pada kedua logam tersebut lebih maksimal.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian karakterisasi adsorben dan pengukuran konsentrasi limbah logam setelah adsorpsi dapat disimpulkan bahwa limbah alat gelas laboratorium mampu dan efektif digunakan sebagai adsorben dalam penanganan limbah logam berat dengan persentase adsorpsi diatas 85%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini berhasil terlaksana berkat bantuan dana penelitian melalui Program Penelitian Karya Inovasi Tenaga Kependidikan (PKITK) dengan nomor kontrak Nomor : 477/UN16.19/PT.01.03/PKITK/2025. Terima kasih kepada Tim Analis Laboratorium Riset, UPT. Laboratorium Sentral Universitas Andalas.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adli, H. (2012). Pengelolaan Limbah Cair Laboratorium Dengan Metode Presipitasi Dan Adsorpsi Untuk Penurunan Kadar Logam Berat. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Ali, R.M., Hendrawati, T.Y., Ismiyati, I., Fithriyah, N.H. (2020). Pengaruh Jenis Adsorben Terhadap Efektifitas Penurunan Kadar Timbal Limbah Cair Recycle Aki Bekas. *Jurnal Teknologi*, vol. 12, no. 1, pp. 87–92.
- Ariani, M.D., dan Rahayu, D. (2016). Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium Kimia. *Farmaka*, vol. 14, no. 4, pp. 89–97.
- Marjuki, E.I., Amelia, N., Fithriyah, N.H. (2018). Pemanfaatan Limbah Kaca Untuk Sintesis Zeolit Dengan Variasi Waktu Tinggal Dalam Reaktor Hidrotermal. *Prosiding Semnastek*.
- Nurbaeti, L., Prasetya, A.T. dan Kusumastuti, E. (2019). Arang Ampas Tebu (Bagasse) Teraktivasi Asam Klorida Sebagai Penurun Kadar Ion $H_2PO_4^-$. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol. 8, no. 2. Pp. 133-140.
- Nurmi, F.A.Y. (2021). Penggunaan Zno/Zeolit Alam Clinoptilolit-Ca Sebagai Pendegradasi Air Limbah Pertanian Terhadap Nitrat, Nitrit, Cod Dan Ph Air Secara Fotolisis. *Skripsi*. Universitas Andalas.
- Puari, A.T. (2016). Pengolahan Limbah Cair Kegiatan Praktikum Spektrofotometer Visible Dengan Adsorpsi Menggunakan Keramik Bekas Untuk Penurunan Kadar Toksisitas Logam Berat. Prosiding ISBN: 978-602-294-108-8, pp. 42-47.
- Yohana, N., Arifin, A. dan Destiarti, L. (2018). Pengolahan Limbah Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Dengan Kombinasi Proses Kimia Dan Biologi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 6, no. 1, pp. 1-10.