



## PENGURANGAN KANDUNGAN LIMBAH Zn MENGGUNAKAN METODE ADSORPSI DENGAN MENGGUNAKAN FLY ASH

Safir Kartika Wardana<sup>1</sup>, Syariful Maliki<sup>2\*</sup>, Sulastriani<sup>3</sup>, Mochammed Alamsyah<sup>4</sup>, Nada Shafira<sup>4</sup>, Sri Dwi Lestari<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

<sup>3</sup>Program Studi Teknologi Pangan, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Lama, Ilir Barat, Kota Palembang, Sumatera Selatan - 30128

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Kimia, Universitas Serang Raya

Jl. Raya Cilegon No. Km5, Taman, Drangong, Tatakan, Kota Serang, Banten - 42162

\* e-mail: [syarifulmaliki@polsri.ac.id](mailto:syarifulmaliki@polsri.ac.id)

### Abstrak

*Fly ash batubara adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel halus. Fly ash merupakan salah satu sisa pembakaran batu bara yang dihasilkan dalam jumlah besar. Aktivasi alkali pada fly ash dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi fly ash. Dalam penelitian ini, fly ash yang telah diaktivasi dengan alkali digunakan sebagai adsorben ion Zn(II). Pengaruh berat fly ash, waktu adsorpsi serta konsentrasi awal ion Zn(II) dipelajari. Hasil penelitian yang dilakukan adalah bahwa fly ash terbukti cukup efektif untuk menurunkan kadar Zn dengan efisiensi yang bervariasi dari 80% hingga 90% tergantung dari variabel-variabel yang dipakai.*

*Kata kunci:* Adsorpsi, Fly ash, Zn, Aktivasi.

Doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.13573>

### 1. Pendahuluan

Pesatnya perkembangan industrialisasi di negara-negara berkembang telah menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang banyak, limbah cair tersebut umumnya terdiri dari berbagai ion logam berat yang langsung dibuang ke lingkungan dalam beberapa dekade terakhir. Pembuangan langsung air limbah akan menimbulkan ancaman serius terhadap lingkungan dan mempunyai dampak yang mematikan bagi masyarakat karena sifat toksisitas dan sifat karsinogeniknya (Ankrah, Tokay and Snape, 2022). Beberapa limbah logam berat seperti Cadmium, Timbal, Nikel, Kobalt, Tembaga, Seng, Kromium, dan Besi, dan lain-lain. Logam berat yang menjadi polutan beracun dan tidak dapat terbiodegradasi yang menimbulkan toksisitas tinggi bahkan pada konsentrasi

yang sangat rendah dan terakumulasi dalam rantai makanan dan diserap oleh organisme sehingga mengakibatkan masalah kesehatan yang parah (Kumar *et al.*, 2019).

Adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air limbah. Adsorpsi memiliki keunggulan yaitu sederhana, fleksibel, efisien, dan biaya rendah (Maliki *et al.*, 2019; Purbasari *et al.*, 2022). Oleh karena itu, pemilihan adsorben yang tepat harus diperhatikan agar mampu menghilangkan logam berat dari sistem tunggal maupun multi-kontaminasi dengan baik.

Jenis adsorben yang paling umum digunakan adalah karbon aktif, gel silika, zeolit, resin penukar ion, bahan mesopori yang disintesis dari zeolit buatan, mineral silicoaluminate atau oksida graphene, yang mampu mencapai efisiensi penghilangan yang tinggi. Namun kelemahan utamanya adalah tingginya biaya produksi. Untuk memenuhi kebutuhan saat ini, alternatifnya adalah penerapan adsorben limbah berbiaya rendah yang dihasilkan dari pengolahan industri, seperti limbah sayuran, lumpur merah, dan abu terbang (Kalak, Kłopotek and Cierpiszewski, 2019).

Coal fly ash (CFA), merupakan produk sampin dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik, Fly Ash merupakan bahan yang sangat murah dan tersedia melimpah. Bentuknya berupa kaca seperti bubuk halus berwarna abu-abu, yang biasanya dikumpulkan dari gas buang oleh alat pengendap elektrostatis atau pengumpul debu lainnya (Astuti *et al.*, 2021). Fly ash terdiri dari bahan anorganik yang terdapat dalam batubara yang telah menyatu selama pembakaran batubara. Bahan ini dipadatkan ketika tersuspensi dalam gas buang dan dikumpulkan dari gas buang oleh alat pengendap elektrostatis. Fly ash biasanya berbentuk celah dengan ukuran 0,005–0,074 mm (Saakshy *et al.*, 2016). Beberapa penelitian telah melaporkan efektivitas CFA dalam menghilangkan ion Pb(II) dan ion Zn(II) dari larutan air (Koshy and Singh, 2016; Xiyili, Çetintaş and Bingöl, 2017). Untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi CFA, beberapa modifikasi dan proses aktivasi

juga telah dipelajari sebelumnya, seperti modifikasi menggunakan alkali dan aktivasi mekanis (Astuti *et al.*, 2021).

Logam Fly ash dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam karena memiliki sifat porositas dan muatan permukaan yang tinggi. Fly ash terdiri dari partikel-partikel kecil yang dapat menyerap logam dari larutan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan fly ash sebagai adsorben logam.

Dalam aplikasinya sebagai adsorben, perlakuan kimia dari fly ash mempengaruhi kapasitas adsorpsinya. Pengolahan kimia fly ash dapat meningkatkan luas permukaan yang mengakibatkan peningkatan kapasitas adsorpsi logam berat. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi alkali pada fly ash sebelum digunakan sebagai adsorben pada ion Zn(II). Keberadaan ion Zn(II) dalam tingkat tertentu didalam air dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti iritasi kulit, hepatotoksisitas, dan hemotoksisitas. Pengaruh berat fly ash, waktu adsorpsi, serta konsentrasi awal ion Zn(II) terhadap proses adsorpsi ion Zn(II) oleh fly ash teraktivasi akan dipelajari.

## **2. Bahan dan Metode**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquadest, larutan ZnSO<sub>4</sub> dan fly ash yang diambil dari daerah PLTU merak, Cilegon. Untuk zat aktivatornya, dipakai Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH konsentrasi yaitu 10N dengan perbandingan 1:1. Alat-alat yang digunakan pada penelitian adalah Ayakan, Oven, gelas beker 1 liter, Gelas ukur 100 mL, *Magnetic stirrer*, spatula, Cawan, Kaca arloji, Neraca analitik, Saringan, Batang pengaduk, Erlenmeyer, Kertas saring, Labu ukur 100 mL, Mortar, Pipet ukur, Botol semprot.

Penelitian ini menggunakan 3 variabel pembanding, yaitu variabel berat, waktu dan konsentrasi ZnSO<sub>4</sub> sebagai larutan sintesis yaitu konsentrasi 10 PPM, 25 PPM, 40 PPM, 55 PPM, dan 70 PPM, variabel waktu kontak adsorpsi yaitu 45, 60, 75, 90, 105 dan 120 menit, serta variabel berat yaitu 0,10. 0,15. 0,20. 0,25 dan 0,30 gram.

Tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aktivasi fly ash secara kimia dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  konsentrasi yaitu 10N dengan perbandingan 1: 1

Fly ash dicuci menggunakan aquadest kemudian dilakukan penghilangan kadar air di dalam oven, setelah erring flash di ayak dengan ukuran 60 mesh, selanjutnya di aktivasi dengan laerutan  $\text{NaOH}$  10N dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan perbandingan 1:1. Setlah didiamkan seharian, fly ash disaring dan keringkan.

2. Adsorpsi larutan sintetis  $\text{ZnSO}_4$  dengan fly ash

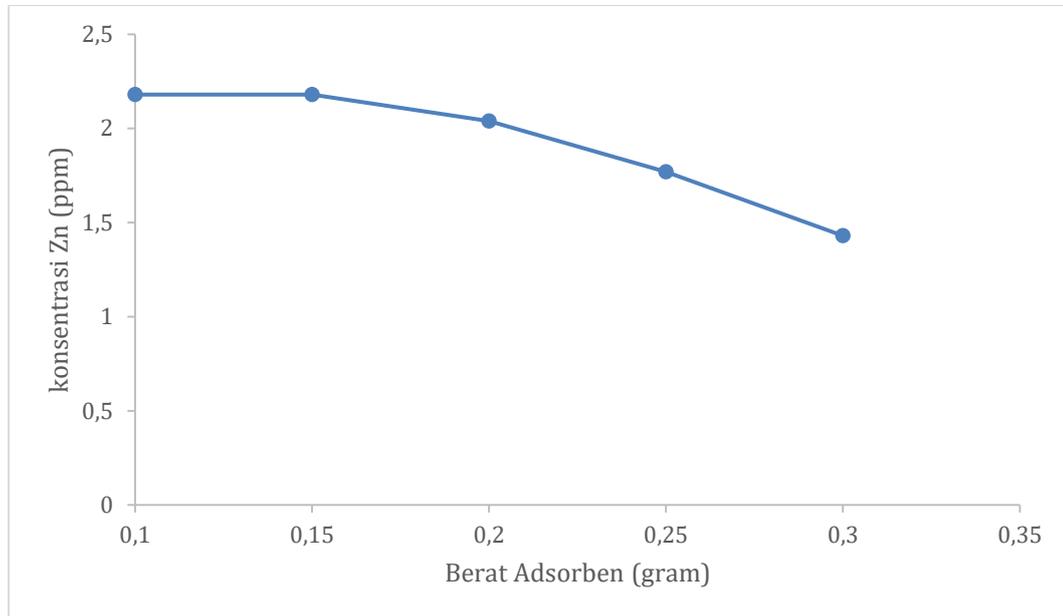
Untuk tahapan adsorpsi larutan  $\text{ZnSO}_4$  dilakukan dengan melakukan variasi berat fly ash dengan pengadukan selama 75 menit, kedua dilakukan dengan variasi waktu kontak dengan berat fly ash 30 gram, dan ketiga dengan memvariasikan kadungan konsentrasi Zn dengan berat flash ash 30 gram dan waktu pengadukan 105 menit. Untuk semua variasi yag telah dilakukan, larutan  $\text{ZnSO}_4$  yang digunakan adalah dengan konsentrasi 40 ppm sebanyak 100 mL dan diaduk dengan kecepatan maksimal 200 rpm.

3. Analisis kadar Zn pada larutan sintetis  $\text{ZnSO}_4$  setelah adsorpsi

Untuk pengujian hasil dari konsentrasi larutan Zn yang telah teradsorb, dilkaukan dengan alat AAS. Data yang didapatkan akan diolah kedalam perhitungan.

### **3. Hasil dan Diskusi**

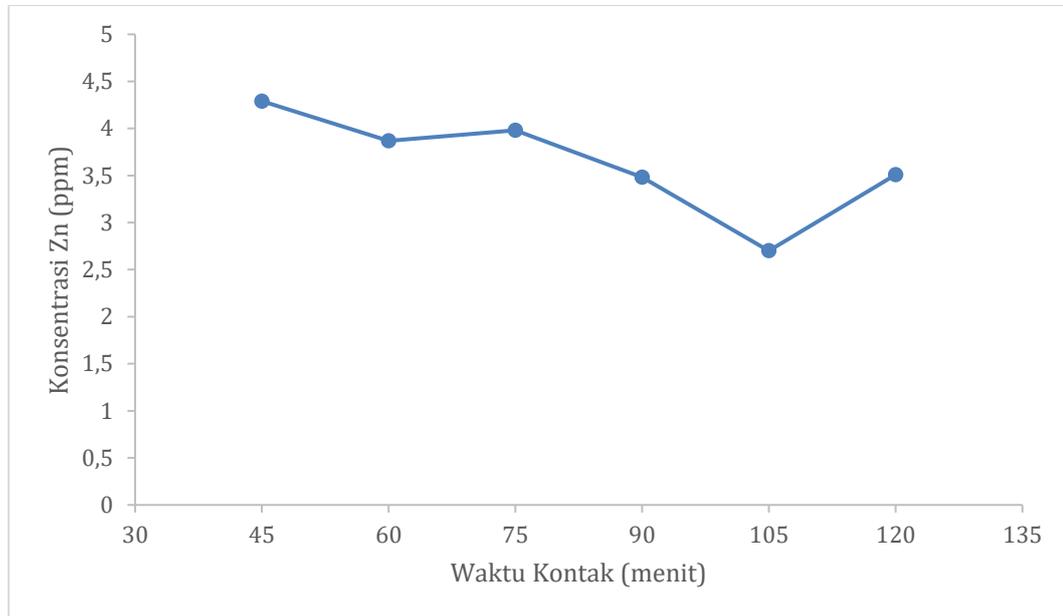
#### **3.1 Pengaruh Variasi Massa Fly Ash Terhadap Pengurangan konsentrasi Zn**



Gambar 1. Pengaruh berat adsorben terhadap konsentrasi Zn

Dapat dilihat hasil pengurangan konsentrasi logam Zn pada Gambar 1 dengan memvariasikan berat adsorben. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi kandungan Zn dengan bertambahnya berat adsorben, hal ini bisa terjadi disebabkan dengan bertambahnya berat adsorben maka luas permukaan kontak akan semakin besar. Ini dapat dilihat pada berat adsorben 0,3 gram konsentrasi Zn yang awalnya 40 ppm menjadi 1,43 ppm, ini lebih sedikit dibandingkan dengan berat adsorben seberat 0,1 gram yang mencapai 2,18 ppm.

### 3.2 Pengaruh Variasi Waktu Kontak Terhadap Pengurangan konsentrasi Zn



Gambar 2. Pengaruh waktu kontak adsorben terhadap konsentrasi Zn

Pada Gambar 2 dapat dilihat pengaruh waktu kontak terhadap pengurangan konsentrasi logam Zn. Dapat lihat waktu kontak pada 105 menit menjadi waktu yang penguranga konsentrasi Zn paling banyak yaitu, yang mula nya 40 ppm menjadi 2,70 ppm. Pada proses adsorpsi semakin lamanya waktu pengontakan dapat menurunkan kadar pada larutan logam (Takarani, Findia Novita and Fathoni, 2019). Menurut Franciska dkk (2016) penyerapan adsorbat oleh adsorben lebih kecil pada awal-awal kontak,, hal ini dikarenakan waktu kontak yang digunakan adsorben untuk berinterakdi dengan larutan logam belum cukup yang menyebabkan permukaan adsorben belum sepenuhnya terisi oleh adsorbat. Pada data penelitian ini, dapat dilihat bahwa kadar logam tidak sepenuhnya terus berkurang dengan waktu kontak yang bertambah, ini dikarenakan waktu yang dibutuhkan untuk terjadi kontak antara adsorben dan adsorbat melebihi batas waktu kemampuan sebuah adsorben dalam proses penyerapan adsorbat sehingga logam menjadi terlepas kembali.

### 3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Zn Terhadap Pengurangan konsentrasi Zn dengan berat adsorben tetap

Dari data penelitian di sebelumnya didapat bahwa adsorben dengan berat 0,3 gram dan waktu kontak selama 105 menit yang memiliki penurunan kadar Zn yang paling besar dibandingkan dengan yang lainnya. Oleh karena itu peneliti melakukan variasi konsentrasi Zn dengan menggunakan variable berat adsorben dan waktu kontak masing-masing 0,3 gram dan 105 menit.

Tabel 1.. efisiensi penyerapan Zn dengan menggunakan adsorben Fly Ash

| NO. | Konsentrasi Zn Awal | Massa Fly Ash | Waktu Kontak | Konsentrasi Zn Setelah Absorpsi | Efisiensi Penyerapan |
|-----|---------------------|---------------|--------------|---------------------------------|----------------------|
| 1.  | 10 ppm              | 0,3 gram      | 105 menit    | 1,59 ppm                        | 84,1 %               |
| 2.  | 25 ppm              | 0,3 gram      | 105 menit    | 3,58 ppm                        | 85,7 %               |
| 3.  | 40 ppm              | 0,3 gram      | 105 menit    | 3,02 ppm                        | 92,5 %               |
| 4.  | 55 ppm              | 0,3 gram      | 105 menit    | 5,02 ppm                        | 90,9 %               |
| 5.  | 70 ppm              | 0,3 gram      | 105 menit    | 7,00 ppm                        | 90,0 %               |

Pada Table 1 dapat dilihat bahwa adsorben dari fly ash yang telah di aktivasi secara kimia secara efisien dapat mengurangi konsentrasi Zn. Rata rata efisiensi penyerapan Zn dengan menggunakan adsorben fly ash adalah 88,6%.

### 3.4 Isoterm Adsorpsi Zn

Tabel 2. Isoterm Adsorpsi Zn

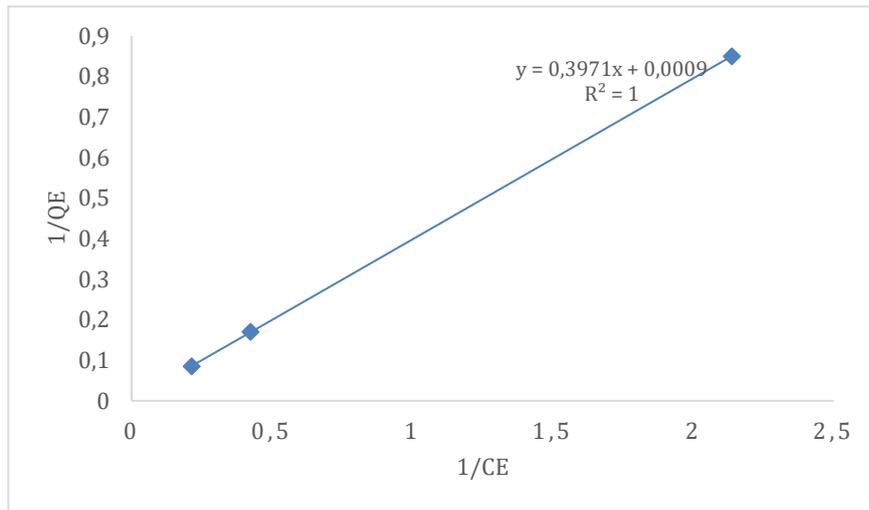
| No. | Zn awal (mg/L) | Zn akhir (Ce) (mg/L) | Zn teradsorpsi (mg/L) | Qe     | 1/Ce   | 1/Qe   | log Ce  | Ce/Qe   |
|-----|----------------|----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1.  | 40             | 4,680                | 35,32                 | 11,773 | 0,2137 | 0,0849 | 0,6702  | 55,0992 |
| 2.  | 20             | 2,360                | 17,64                 | 5,880  | 0,4237 | 0,1701 | 0,3729  | 13,8768 |
| 3.  | 4              | 0,468                | 3,53                  | 1,177  | 2,1368 | 0,8494 | -0,3298 | 0,5510  |

Penelitian adsorben fly ash variasi berat, waktu, dan larutan sintetik dapat melibatkan penggunaan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Persamaan Langmuir bergantung pada asumsi adsorpsi pada lapisan permukaan homogen, sedangkan persamaan Freundlich memberikan pendekatan yang lebih umum dan berguna untuk sistem adsorpsi yang kompleks dan heterogen. Dengan menganalisis data eksperimental menggunakan kedua persamaan ini, hubungan antara variabel-variabel tersebut dapat dijelaskan dan parameter-parameter adsorpsi dapat ditentukan.

Untuk menentukan isoterm adsorpsi harus dipelajari perubahan konsentrasi adsorbat pada proses adsorpsi melalui mekanisme adsorpsi. Ada dua isoterm yang umum digunakan, yaitu isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich. Penentuan model isoterm adsorpsi menggunakan fly ash didapatkan pada kondisi optimum, yaitu berat fly ash 0,3 gram, waktu kontak 105 menit dan konsentrasi Zn 40 ppm.

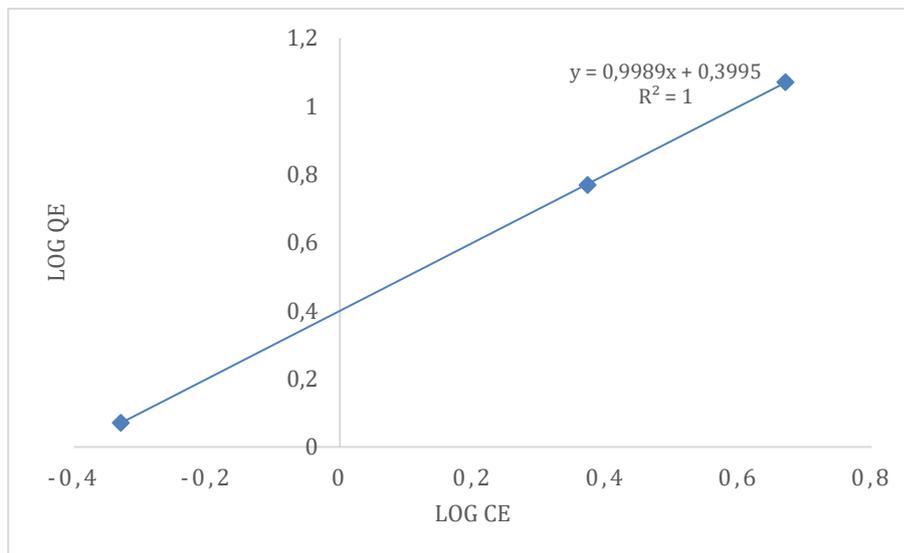
Untuk menentukan model kesetimbangan ini tergantung pada nilai koefisien determinan ( $R^2$ ) yang memiliki nilai yang tinggi. Kesetimbangan pada adsorpsi merupakan suatu penjabaran secara matematis suatu kondisi isotermal yang dikhusus untuk setiap adsorben. Dengan demikian, untuk setiap adsorben dan zat yang diserap memiliki kesetimbangan adsorpsinya tersendiri.

Isoterm Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorben maksimum terjadi dikarenakan adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat pada permukaan adsorben. Setelah dilakukan analisis pada kondisi optimum, dihitung nilai yang terdapat pada Tabel 2 selanjutnya dibuat grafik  $1/Q_e$  vs  $1/C_e$  sehingga didapat persamaan garisnya. Grafik isoterm Langmuir dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Isoterm Langmuir

Dari grafik dan nilai konstanta di atas, dapat disimpulkan bahwa fly ash yang diaktivasi terbukti dapat mengadsorpsi Zn, ditunjukkan dengan nilai  $R^2$  yang bernilai 1 dan nilai konstanta a yaitu kapasitas atau daya adsorpsi maksimum dalam satuan mg/g yang bernilai positif.



Gambar 4. Isoterm Freundlich

Grafik isoterm adsorpsi Freundlich menggunakan  $\log C_e$  vs  $\log Q_e$ . Dari grafik ini akan didapatkan persamaan garis yang selanjutnya digunakan untuk menghitung konstanta Freundlich  $K$  dan  $n$ .

#### 4. Simpulan dan Saran

##### 4.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kondisi paling optimum untuk mengadsorpsi logam Zn menggunakan fly ash teraktivasi adalah pada berat adsorben sebesar 0,3 gram, waktu kontak adsorpsi 105 menit, dan konsentrasi Zn sebesar 40 ppm. Dengan efisiensi penyerapan yang didapat sebesar 88,6%. Proses adsorpsi logam Zn pada larutan ZnSO<sub>4</sub> menggunakan fly ash teraktivasi memenuhi persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

##### 4.2. Saran

1. Diharapkan dengan penelitian ini akan menjadi rujukan bagi peneliti selanjutnya untuk mengkaji lebih mendalam tentang aplikasi fly ash sebagai adsorben logam berat
2. Perlunya penelitian lanjutan terutama menambah variasi pada variasi berat.

#### 5. Daftar Pustaka

1. Ankrah, A.F., Tokay, B. and Snape, C.E. (2022) 'Heavy Metal Removal from Aqueous Solutions Using Fly-Ash Derived Zeolite NaP1', *International Journal of Environmental Research*, 16(2), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41742-022-00395-9>.
2. Astuti, W. *et al.* (2021) 'Removal of lead (Pb(II)) and zinc (Zn(II)) from aqueous solution using coal fly ash (CFA) as a dual-sites adsorbent', *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 34(Ii), pp. 289–298. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.08.046>.
3. Kalak, T., Kłopotek, A. and Cierpiszewski, R. (2019) 'Effective adsorption of lead ions using fly ash obtained in the novel circulating fluidized bed combustion technology', *Microchemical Journal*, 145, pp. 1011–1025. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.12.005>.
4. Koshy, N. and Singh, D.N. (2016) 'Fly ash zeolites for water treatment applications', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), pp.

- 1460–1472. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.02.002>.
5. Kumar, M. *et al.* (2019) ‘Valorization of coal fired-fly ash for potential heavy metal removal from the single and multi-contaminated system’, *Heliyon*, 5(10), p. e02562. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02562>.
  6. Maliki, S. *et al.* (2019) ‘Removal of Fe (II) in groundwater using rice husk-sourced biosorbent in continuous column adsorption’, *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(5). Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/5/055007>.
  7. Purbasari, A. *et al.* (2022) ‘Comparison of Alkali Modified Fly Ash and Alkali Activated Fly Ash as Zn(II) Ions Adsorbent from Aqueous Solution’, *Science of Sintering*, 54(1), pp. 49–58. Available at: <https://doi.org/10.2298/SOS2201049P>.
  8. Saakshy, A. *et al.* (2016) ‘Fly ash as low cost adsorbent for treatment of effluent of handmade paper industry-Kinetic and modelling studies for direct black dye’, *Journal of Cleaner Production*, 112, pp. 1227–1240. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.058>.
  9. Takarani, P., Findia Novita, S. and Fathoni, R. (2019) ‘Pengaruh Massa dan Waktu Adsorben Selulosa dari Kulit Jagung terhadap Konsentrasi Penyerapan’, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, 2(1), pp. 117–121. Available at: <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/SEMNASSTEK/article/view/2816>.
  10. Xiyili, H., Çetintaş, S. and Bingöl, D. (2017) ‘Removal of some heavy metals onto mechanically activated fly ash: Modeling approach for optimization, isotherms, kinetics and thermodynamics’, *Process Safety and Environmental Protection*, 109, pp. 288–300. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.012>.