

Karakterisasi Isoterm Adsorpsi Fe dan Mn Pada Sampel Air Asam Tambang

Mycelia Paradise¹

¹Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Korespondensi : mycelia@itny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola adsorpsi logam berat. Uji adsorpsi dilakukan terhadap Fe dan Mn pada sampel Air Asam Tambang (AAT) yang mengandung Fe 13,006 mg/L dan Mn 30,590 mg/L pada berbagai variasi waktu dan massa adsorben. Hasil percobaan menunjukkan bahwa massa komposit sebanyak 5 gram dapat menurunkan konsentrasi besi hingga 99,35%, namun massa adsorben sebanyak 2,5 gram lebih efisien karena berhasil menurunkan konsentrasi besi menjadi 0,1484 mg/L dalam waktu 30 menit, sehingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Pola adsorpsi dalam penelitian ini digambarkan melalui kurva isoterm adsorpsi yang memiliki koefisien korelasi (R^2) mendekati 1. Berdasarkan hasil analisis, penyerapan Fe mengikuti pola isoterm Langmuir dengan $R^2 = 0,998$, sementara penyerapan Mn juga mengikuti pola isoterm Langmuir dengan $R^2 = 0,997$. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien korelasi pada isoterm Langmuir lebih tinggi daripada isoterm Freundlich untuk Fe maupun Mn, menunjukkan tingkat korelasi yang sangat kuat dalam model Langmuir. Dengan demikian, proses adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini merupakan adsorpsi kimia dengan kapasitas adsorpsi adsorben terhadap Fe sebesar 1,286 mg/g dan Mn sebesar 1,031 mg/g pada kondisi optimum massa adsorben 2,5 gram selama 30 menit.

Kata kunci: Adsorpsi, Fe, Isoterm, Mn

ABSTRACT

This study aimed to analyze the adsorption pattern of heavy metals. Adsorption tests were conducted on Fe and Mn in Acid Mine Drainage (AAT) samples containing Fe 13.006 mg/L and Mn 30.590 mg/L at various times and adsorbent mass variations. The experimental results showed that the composite mass of 5 grams could reduce the iron concentration to 99.35%, but the adsorbent mass of 2.5 grams is more efficient because it succeeded in reducing the iron concentration to 0.1484 mg/L within 30 minutes, thus meeting the quality standards set. The adsorption pattern in this study is described through the adsorption isotherm curve which has a correlation coefficient (R^2) close to 1. Based on the analysis results, Fe adsorption followed the Langmuir isotherm pattern with $R^2 = 0.998$, while Mn adsorption followed the Langmuir isotherm pattern with $R^2 = 0.997$. The analysis showed that the correlation coefficient in Langmuir isotherm was higher than Freundlich isotherm for both Fe and Mn, indicating a very strong level of correlation in the Langmuir model. The adsorption mechanism observed in this study is characterized as chemical adsorption. The adsorbent exhibits an adsorption capacity of 1.286 mg/g for Fe and 1.031 mg/g for Mn under the optimal conditions of a 2.5-gram mass of adsorbent for 30 minutes.

Keyword: Adsorption, Fe, Isotherm, Mn

PENDAHULUAN

Air asam tambang (AAT) adalah air dengan nilai pH rendah dan kelarutan logam yang lebih tinggi yang dihasilkan oleh reaksi antara mineral sulfida, oksigen, dan air ketika batuan yang mengandung mineral sulfida terpapar udara bebas dan larut dalam air selama proses pembongkaran overburden dalam proses penambangan [1]. Parameter logam berat yang paling umum terdapat dalam air asam tambang batubara adalah mangan (Mn) dan besi (Fe), yang menghasilkan endapan berwarna hitam dan kuning. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara, kadar mangan dan besi maksimum dalam air asam tambang adalah 7 mg/l dan kadar mangan total 4 mg/l. Baku mutu pH air limbah kegiatan pertambangan batubara adalah 6-9. Untuk mengurangi atau menyerap logam berat dari air limbah, banyak teknologi telah dikembangkan, termasuk presipitasi bahan

kimia, osmosis balik, pertukaran ion, dan adsorpsi. Karena jenis dan jumlah adsorben yang melimpah di alam, metode adsorpsi menjadi metode yang banyak digunakan untuk menyerap logam berat [8].

Jenis adsorpsi adalah adsorpsi fisika (phisorpsi) dan adsorpsi kimia (chemisorpsi). Adsorpsi fisika terjadi ketika gaya tarik-menarik antara zat terlarut dan pelarutnya lebih besar daripada gaya tarik-menarik antara zat terlarut dan adsorben. Akibatnya, zat terlarut diadsorpsi pada permukaan adsorben. Karena molekul-molekul yang diadsorpsi tidak terikat kuat pada permukaan secara fisik, adsorpsi ini bersifat *reversible*. Atom-atom ion yang terikat dapat dilepaskan kembali. Pada adsorpsi kimia, adsorpsi diawali dengan adsorpsi fisika sebelum adsorpsi kimia, di mana partikel melekat pada permukaan adsorben dan membentuk ikatan kimia. Gaya adsorpsi ini jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika. Ikatan kimia yang terjadi pada kemisorpsi mengikat molekul gas atau cairan dengan permukaan padatan, membuatnya sulit dilepaskan kembali (*irreversible*) [9].

Material yang disebut limbah dapat digunakan sebagai adsorben. Material tersebut adalah arang tempurung kelapa yang diaktifkan [5], *claystone* yang diaktifkan [3], dan zeolite yang diaktifkan [10]. Penelitian tentang penggunaan material tersebut sebagai penyerap logam berat telah banyak dilakukan, namun penggunaan campuran ketiga material tersebut belum pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis isoterm adsorpsi terhadap Fe dan Mn oleh campuran ketiga material tersebut sehingga dapat ditentukan jenis adsorpsi yang terjadi pada proses penyerapan Fe dan Mn.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Metode eksperimental di laboratorium. Uji adsorpsi dilakukan terhadap sampel AAT. Untuk uji adsorpsi (Gambar 1), menggunakan langkah-langkah berikut [4];[6]:

- Menyiapkan 250 mililiter sampel air asam tambang dalam gelas beker dan meletakkannya di atas alat *hot plate stirrer*
- Mengatur kecepatan 300 rpm dan suhu 25°C
- Memasukkan komposit ke dalam gelas beker berisi sampel AAT
- Menunggu uji adsorpsi berlangsung selama waktu kontak tertentu
- Menyaring larutan menggunakan kertas saring
- Uji AAS di Laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta untuk mengetahui konsentrasi Fe dan Mn yang tersisa.



Gambar 1. Uji adsorption

Adsorpsi dilakukan pada berbagai variasi parameter seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi parameter uji adsorption

Parameter	Variasi
Waktu kontak (menit)	0, 30, 60, 90, 120, 150
Massa komposit (gram)	2,5 ; 5 ; 7,5
Kecepatan pengadukan (rpm)	300
Temperature (°C)	25
Volume AAT (ml)	250
pH adsorbate (AAT)	2,6

HASIL DAN ANALISIS

Konsentrasi Fe dan Mn

Hasil uji *Atomic absorption spectroscopy* di Laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta menunjukkan bahwa sampel AAT mengandung Fe = 13,006 mg/L dan

Mn = 30,590 mg/L. Setelah adsorpsi pada berbagai variasi waktu kontak dan massa adsorben, diperoleh hasil bahwa proses adsorpsi berhasil menurunkan konsentrasi Fe dan Mn (Tabel 2 dan 3).

Tabel 2. Perubahan konsentrasi Fe

Massa komposit (gram)	Waktu kontak (menit)					
	0	30	60	90	120	150
2,5	13,0060	0,1484	0,1998	0,3114	0,0988	0,0510
5	13,0060	0,0456	0,1573	0,0350	0,0882	0,0988
7,5	13,0060	0,0510	0,2902	0,1520	0,0563	0,0775

Hasil menunjukkan bahwa komposit sangat efektif menurunkan konsentrasi logam besi dalam AAT. Massa komposit 5 gram menurunkan konsentrasi besi paling efektif sebesar 99,35%, tetapi massa komposit 2,5 gram lebih efisien karena dapat menurunkan konsentrasi besi menjadi 0,1484 mg/l dalam waktu kontak 30 menit, sehingga konsentrasi besi memenuhi baku mutu.

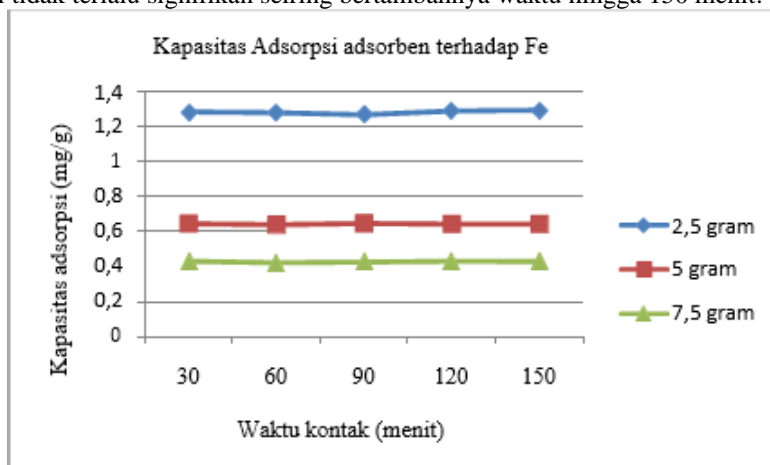
Tabel 3. Perubahan konsentrasi Mn

Massa komposit (gram)	Waktu kontak (menit)					
	0	30	60	90	120	150
2,5	30,5900	20,2830	17,9310	18,6200	20,5440	18,9050
5	30,5900	18,4060	16,7910	16,3400	16,0070	16,4590
7,5	30,5900	17,2420	15,5320	15,0330	14,0120	13,5610

Hasil percobaan menunjukkan bahwa penurunan logam besi tidak seefektif penurunan logam Mn. Efektivitas Mn adalah 44%, sedangkan Fe 99%. Adsorben memiliki kemampuan untuk menurunkan konsentrasi besi hingga di bawah baku mutu, tetapi konsentrasi Mn masih di atas baku mutu. Hasil percobaan juga menunjukkan perbedaan adsorpsi antara logam besi dan mangan. Analisis menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi lebih cepat pada massa komposit yang lebih besar, atau pada pH yang lebih basa, karena ion logam berat bersaing dengan ion H^+ di permukaan adsorben. Urutan adsorpsi logam berat pada pH 2,4 adalah sebagai berikut: $Hg > Fe > Pb > Cu = Al > Ni > Cr = Zn = Cd = Co = Mn$ [2];[7].

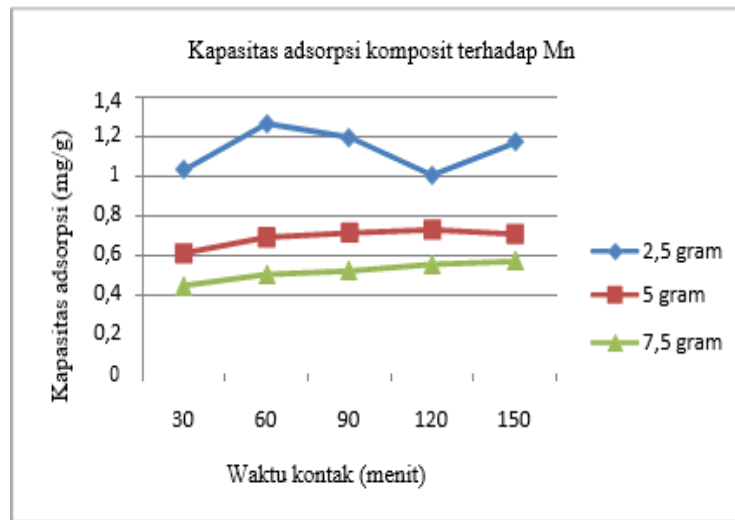
Kapasitas adsorpsi

Kapasitas adsorpsi adalah jumlah logam berat yang dapat diserap oleh 1 gram adsorben. Kapasitas adsorpsi adsorben dengan massa 2,5 gram terhadap logam besi adalah yang terbaik, dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi adsorben dengan massa 5 dan 7,5 gram, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan waktu kontak 30 menit, kapasitas adsorpsi adsorben dengan massa 2,5 gram adalah 1,286 mg/g, yang berarti bahwa setiap massa adsorben dengan massa 1 gram mampu menyerap 1,286 mg logam besi. Perubahan kapasitas adsorpsi tidak terlalu signifikan seiring bertambahnya waktu hingga 150 menit.



Gambar 2. Kapasitas adsorpsi terhadap Fe

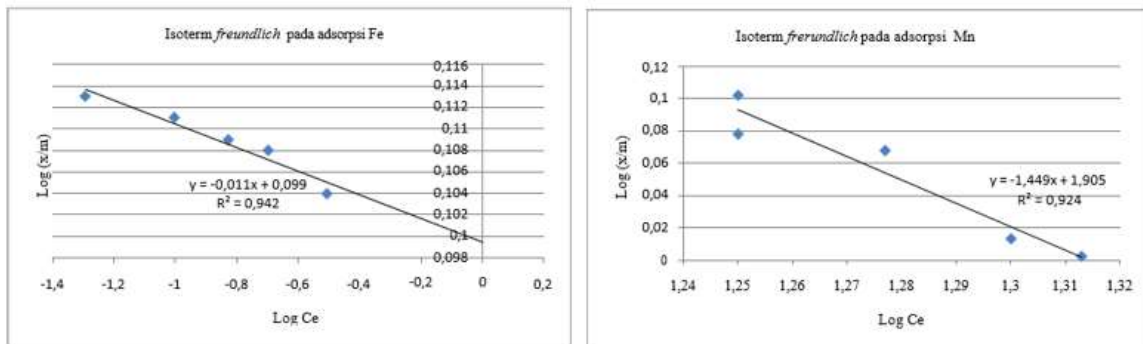
Hasil percobaan menunjukkan bahwa massa komposit 2,5 gram memiliki kapasitas adsorpsi paling efektif, dengan kapasitas adsorpsi rata-rata 1,14 mg/g, yang berarti bahwa 1 gram komposit dapat menyerap 1,14 mg logam Mn (Gambar 3).



Gambar 3. Kapasitas adsorpsi terhadap Mn

Isoterm adsorpsi

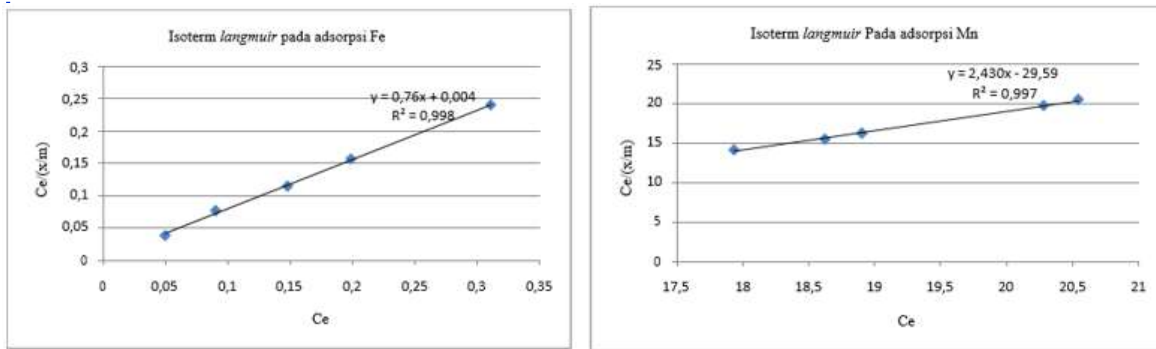
Pola adsorpsi diperlihatkan melalui kurva isoterm adsorpsi yang memiliki koefisien korelasi (R^2) mendekati 1. Berdasarkan perhitungan di Lampiran, penyerapan logam Fe menurut pola isoterm Freundlich menghasilkan $R^2 = 0,942$, sedangkan pola isoterm Langmuir menghasilkan $R^2 = 0,998$. Dilihat dari nilai koefisien korelasi kedua pola isoterm tersebut, terlihat bahwa koefisien korelasi pada isoterm Langmuir logam Fe lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien korelasi pada isoterm Freundlichnya. Demikian pula, dalam proses penyerapan logam Mn, pola isoterm Freundlich menghasilkan nilai $R^2 = 0,924$, sementara pola isoterm Langmuir menghasilkan $R^2 = 0,997$. Berdasarkan penilaian atas nilai koefisien korelasi dari kedua pola isoterm ini, terlihat bahwa koefisien korelasi pada isoterm Langmuir logam Mn lebih besar daripada koefisien korelasi pada isoterm Freundlichnya. Hasil penilaian ini menunjukkan tingkat korelasi yang sangat kuat.



Gambar 4. Model isotherm *freundlich* pada adsorpsi Fe dan Mn

Tabel 4. Parameter adsorpsi isoterm *freundlich*

Waktu (menit)	Massa (gram)	Konsentrasi Fe (mg/l)		Konsentrasi Mn (mg/l)		Cads (mg/l)		(x/m) (mg/g)		Log (x/m)		Log Ce	
		Co	Ce	Co	Ce	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
30	2,5	13,006	0,1484	30,590	20,283	12,858	10,307	1,286	1,031	0,109	0,013	-0,829	1,307
	5	13,006	0,0456	30,590	18,406	12,960	12,184	0,648	0,609	-0,188	-0,215	-1,341	1,265
	7,5	13,006	0,0510	30,590	17,242	12,955	13,348	0,432	0,445	-0,365	-0,352	-1,292	1,237
60	2,5	13,006	0,1998	30,590	17,931	12,806	12,659	1,281	1,266	0,108	0,102	-0,699	1,254
	5	13,006	0,1573	30,590	16,791	12,849	13,799	0,642	0,690	-0,192	-0,161	-0,803	1,225
	7,5	13,006	0,2902	30,590	15,532	12,716	15,058	0,424	0,502	-0,373	-0,299	-0,537	1,191
90	2,5	13,006	0,3114	30,590	18,620	12,695	11,970	1,270	1,197	0,104	0,078	-0,507	1,270
	5	13,006	0,0350	30,590	16,340	12,971	14,250	0,649	0,713	-0,188	-0,147	-1,456	1,213
	7,5	13,006	0,1520	30,590	15,033	12,854	15,557	0,428	0,519	-0,369	-0,285	-0,818	1,177
120	2,5	13,006	0,0988	30,590	20,544	12,907	10,046	1,291	1,005	0,111	0,002	-1,005	1,313
	5	13,006	0,0882	30,590	16,007	12,918	14,583	0,646	0,729	-0,190	-0,137	-1,055	1,204
	7,5	13,006	0,0563	30,590	14,012	12,949	16,578	0,432	0,553	-0,365	-0,257	-1,249	1,147
150	2,5	13,006	0,0510	30,590	18,905	12,955	11,685	1,296	1,169	0,113	0,068	-1,292	1,277
	5	13,006	0,0988	30,590	16,459	12,907	14,131	0,645	0,707	-0,190	-0,151	-1,005	1,216
	7,5	13,006	0,0775	30,590	13,561	12,929	17,029	0,431	0,568	-0,366	-0,246	-1,111	1,132



Gambar 5. Model isotherm *langmuir* pada adsorpsi Fe dan Mn

Tabel 5. Parameter adsorpsi isotherm *langmuir*

Waktu (menit)	Massa (gram)	Konsentrasi Fe (mg/l)		Konsentrasi Mn (mg/l)		Cads (mg/l)		(x/m) (mg/g)		Ce/(x/m)	
		Co	Ce	Co	Ce	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
30	2,5	13,006	0,1484	30,590	20,283	12,858	10,307	1,286	1,031	0,115	19,673
	5	13,006	0,0456	30,590	18,406	12,960	12,184	0,648	0,609	0,070	30,223
	7,5	13,006	0,0510	30,590	17,242	12,955	13,348	0,432	0,445	0,118	38,746
60	2,5	13,006	0,1998	30,590	17,931	12,806	12,659	1,281	1,266	0,156	14,164
	5	13,006	0,1573	30,590	16,791	12,849	13,799	0,642	0,690	0,245	24,335
	7,5	13,006	0,2902	30,590	15,532	12,716	15,058	0,424	0,502	0,684	30,940
90	2,5	13,006	0,3114	30,590	18,620	12,695	11,970	1,270	1,197	0,245	15,556
	5	13,006	0,0350	30,590	16,340	12,971	14,250	0,649	0,713	0,054	22,917
	7,5	13,006	0,1520	30,590	15,033	12,854	15,557	0,428	0,519	0,355	28,965
120	2,5	13,006	0,0988	30,590	20,544	12,907	10,046	1,291	1,005	0,077	20,442
	5	13,006	0,0882	30,590	16,007	12,918	14,583	0,646	0,729	0,137	21,957
	7,5	13,006	0,0563	30,590	14,012	12,949	16,578	0,432	0,553	0,130	25,338
150	2,5	13,006	0,0510	30,590	18,905	12,955	11,685	1,296	1,169	0,039	16,172
	5	13,006	0,0988	30,590	16,459	12,907	14,131	0,645	0,707	0,153	23,280
	7,5	13,006	0,0775	30,590	13,561	12,929	17,029	0,431	0,568	0,180	23,875

Berdasarkan penilaian koefisien korelasi pada kedua isotherm, baik Freundlich maupun Langmuir, dapat disimpulkan bahwa penyerapan Fe dan Mn dalam penelitian ini mengikuti pola isotherm Langmuir dengan nilai R^2 yang mendekati 1. Hal ini mengindikasikan bahwa pada permukaan adsorben, molekul-molekul yang mengalami adsorpsi membentuk satu lapisan atau monolayer. Selain itu, asumsi dapat dibuat bahwa permukaan adsorben bersifat homogen, dan setiap molekul memiliki daya serap yang seragam di berbagai sisi aktifnya. Oleh karena itu, diperkirakan bahwa proses adsorpsi Fe dan Mn dalam penelitian ini adalah adsorpsi kimia, di mana terjadi ikatan kuat antara adsorbat dan permukaan adsorben, sehingga bersifat *ireversibel* dan tidak mudah terlepas. Hal ini terjadi karena molekul adsorbat yang terikat pada permukaan adsorben tidak dapat bergerak secara bebas dari satu area ke area lainnya di permukaan adsorben.

KESIMPULAN

Berdasar penelitian yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh yaitu:

1. Adsorpsi menggunakan adsorben dengan massa 2,5 gram merupakan adsorpsi paling efisien untuk menyerap Fe dan Mn
2. Berdasarkan nilai koefisien korelasi baik pada isotherm Freundlich maupun Langmuir, dapat disimpulkan bahwa proses penyerapan Fe dan Mn dalam penelitian ini mengikuti pola isotherm Langmuir, yang menggambarkan pembentukan monolayer homogen pada permukaan adsorben.
3. Adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini merupakan adsorpsi kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indra, H., Leping, Y., Gunawan, F., & Abfertiawan, M. S. (2014). Seminar Air Asam Tambang ke-5 dan Pascatambang di Indonesia Bandung, 28, 1–9.
- [2] Kerndorff, H., & Schnitzer, M. (1980). Sorption of metals on humic acid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(11), 1701–1708. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90221-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90221-5)
- [3] Musso, T. B., Parolo, M. E., Pettinari, G., & Francisca, F. M. (2014). Cu(II) and Zn(II) adsorption capacity of three different clay liner materials. *Journal of Environmental Management*, 146, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.026>

- [4] Nursanto, E., & Pradise, M. (2021). Adsorption of Iron (Fe) Heavy Metal in Acid Mine Drainage from Coal Mining. RSF Conference Series: Engineering and Technology, 1(1), 500–509. <https://doi.org/10.31098/cset.v1i1.421>
- [5] Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., Rachimoellah, M., & Putri, E. M. M. (2013). Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. Jurnal Teknik Pomits, 2(1), 116–120. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v2i1.2437>
- [6] Paradise, M., Nursanto, E., Nurkhamim, & Haq, S. R. (2022). Use of Claystone, Zeolite, and Activated Carbon As a Composite To Remove Heavy Metals From Acid Mine Drainage in Coal Mining. ASEAN Engineering Journal, 12(2), 75–81. <https://doi.org/10.11113/aej.V12.16982>
- [7] Rahmawati, A., & Santoso, S. J. (2013). STUDI ADSORPSI LOGAM Pb(II) DAN Cd(II) PADA ASAM HUMAT DALAM MEDIUM AIR. Alchemy, 2(1). <https://doi.org/10.18860/al.v0i0.2296>
- [8] Renu, Agarwal, M., & Singh, K. (2017). Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: A review. Journal of Water Reuse and Desalination, 7(4), 387–419. <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.104>
- [9] Subba Reddy, Y., Maria Magdalane, C., Kaviyarasu, K., Mola, G. T., Kennedy, J., & Maaza, M. (2018). Equilibrium and kinetic studies of the adsorption of acid blue 9 and Safranin O from aqueous solutions by MgO decked FLG coated Fuller's earth. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 123, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.07.009>
- [10] Suyanta and Catri, C. R. (2016). (the Effectiveness of Natural Zeolite As Metal Absorbent. 21(Ii), 87–97.