



**UJI OPTIMASI ADSORBEN ALOFAN DAN PASIR KUARSA PADA
ADSORPSI LOGAM BESI (Fe)**

*Optimization Test Of Allophane And Quartz Sand Adsorbents On Iron Metal
(Fe) Adsorption*

Nuzulul Anggi Rizki*¹, Lies Wuryanita Adriyani², Khairunisa³

^{1,2,3}Universitas Muhammadiyah Madiun

¹Email: nar428@ummad.ac.id

²Email: lwa522@ummad.ac.id

³Email: kha388@ummad.ac.id

Abstract

Rapid industrial expansion can result in environmental pollution from the resulting liquid waste. Industrial wastewater contains heavy metal ions, such as iron (Fe). The risk of Fe metal exposure can have a negative impact on organisms and ecosystems, so it is necessary to reduce and eliminate it. Adsorption has proven to be a successful method to reduce the concentration of heavy metal ions in waste. In the adsorption process, adsorbents are the most important elements. Allophane and silica sand are natural substances that can function as adsorbents. This study aims to determine the capacity of allophane and quartz sand as adsorbents of iron (Fe) metal ions. The adsorption process was carried out with 2 variations, namely variations in the mass composition of the adsorbent (0:100; 25:75; 50:50; 75:25; 100:0) and variations in contact time (15, 30, 60, 90, 120). Assessment of the absorption capacity was carried out using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The research findings indicate that the ideal composite ratio for the mass composition of allophane adsorbent and quartz sand is 50:50, which shows an adsorption capacity of 0.81325 mg/g and an absorption percentage of 67.67%. The optimal contact time is 60 minutes, resulting in an adsorption capacity of 0.81677 mg/g and an absorption rate of 67.97%. This study indicates that the allophane and quartz sand composite functions as a relatively effective adsorbent for the absorption of iron (Fe) metal.

Keywords: Iron (Fe) Metal, Adsorption, Allophane, Quarts Sand, Adsorbent

Abstrak

Ekspansi industri yang semakin cepat dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan dari limbah cair yang dihasilkan. Air limbah industri mengandung ion logam berat, seperti besi (Fe). Risiko paparan logam Fe dapat berdampak negatif terhadap organisme dan ekosistem, sehingga perlu dilakukan pengurangan dan eliminasi. Adsorpsi telah terbukti menjadi metode yang berhasil untuk menurunkan konsentrasi ion logam berat dalam limbah. Dalam proses adsorpsi, adsorben merupakan unsur yang paling penting. Alofana dan pasir silika merupakan zat alami yang dapat berfungsi sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas alofan dan pasir kuarsa sebagai adsorben ion logam besi (Fe). Proses adsorpsi dilakukan dengan 2 variasi, yaitu variasi komposisi massa adsorben (0:100; 25:75; 50:50; 75:25; 100:0) dan variasi waktu kontak (15, 30, 60, 90, 120). Penilaian kapasitas penyerapan dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Temuan penelitian menunjukkan bahwa rasio komposit optimal untuk komposisi massa adsorben alofan dan pasir kuarsa adalah 50:50, yang menunjukkan kapasitas adsorpsi



sebesar 0,81325 mg/g dan persentase penyerapan sebesar 67,67%. Waktu kontak optimal adalah 60 menit, menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 0,81677 mg/g dan tingkat penyerapan sebesar 67,97%. Penelitian ini menunjukkan bahwa komposit alofan dan pasir kuarsa berfungsi sebagai adsorben yang relatif efektif untuk penyerapan logam besi (Fe).

Kata Kunci: Logam Besi (Fe), Adsorpsi, Alofan, Pasir Kuarsa, Adsorben

PENDAHULUAN

Industri Indonesia saat ini berkembang dengan sangat cepat. Kemajuan industri menyediakan banyak fasilitas bagi masyarakat dan berdampak positif pada ekonomi negara, tetapi pertumbuhan industri juga memiliki konsekuensi negatif bagi masyarakat. Karena limbah industri mengandung ion logam berat, limbah dapat mencemari lingkungan. Ion logam berat dalam limbah cair memiliki efek beracun yang berkelanjutan pada lingkungan dan makhluk hidup. Pencemaran ion logam berat pada air limbah mengakibatkan risiko yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, sehingga sangat penting untuk menghilangkan logam berat dari air limbah (Zhaohui Zhang et al., 2023).

Logam besi (Fe) adalah salah satu logam berat esensial yang diperlukan oleh organisme hidup, tetapi jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan efek toksik. Kandungan logam Fe yang tinggi dapat mengganggu kesehatan manusia, seperti keracunan, kerusakan usus hingga kematian mendadak (Wessling, R. M., 2017). Mengingat efek negatif logam besi terhadap manusia dan lingkungan, keberadaan logam ini harus dikurangi atau dihapus sebagai limbah lingkungan. Untuk mengatasi pencemaran limbah logam berat, banyak tindakan telah diambil. Kandungan logam berat yang tinggi dalam air dapat merusak kualitas air dan membahayakan makhluk hidup akuatik dan lingkungan. Pertukaran ion dengan resin, filtrasi, adsorpsi, dan presipitasi adalah beberapa cara untuk mengurangi konsentrasi ion logam dalam air limbah. Karena prinsipnya sederhana dan murah, adsorpsi adalah metode yang paling umum digunakan (Ningsih et al., 2016; Nasution & Silaban, 2017).

Salah satu metode terbaik untuk mengurangi konsentrasi ion logam berat dalam limbah adalah adsorpsi. Ada berbagai jenis adsorben karbon aktif yang telah dibuat dan terbukti efektif dalam mengadsorpsi ion logam berat. Namun, mereka mahal dan sulit untuk diproduksi (Fu et al., 2011). Akibatnya, perlu dilakukan upaya untuk menemukan jenis adsorben yang cenderung lebih murah dan mudah diakses.

Alofan adalah mineral yang mudah diperoleh dan dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap logam. Tingkat porositasnya yang tinggi dan kemampuan serapnya yang tinggi adalah karakteristik penjerapnya yang hebat. Karena pasir kuarsa terdiri dari oksida logam, terutama SiO_2 , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 , yang memiliki gugus aktif, pasir kuarsa dianggap sebagai adsorben logam besi (Fe).

Penelitian ini bertujuan untuk membuat adsorben dari kombinasi alofan dan pasir kuarsa untuk menyerap logam berat, terutama logam besi (Fe). Tujuan dari penelitian ini juga adalah untuk mengetahui optimasi perbandingan komposisi massa alofan dan pasir kuarsa, serta optimasi variasi waktu kontak pada adsorpsi.

METODE

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu alofan, pasir kuarsa, aquades, larutan induk Fe 1000 ppm, HNO_3 pekat p.a (Merck) dan Na_2CO_3 p.a

(Merck). Sedangkan peralatan yang digunakan antara lain yaitu *Atomic Absorbtion Spectroscopy* (AAS), *Fourier Transform-Infra Red* (FTIR), *Surface Area Analyzer* (SAA), ayakan, kertas saring, lumping dan mortar, krus dan tangkrus, *magnetic stirrer*, labu ukur, erlenmeyer, gelas ukur, gelas beker, pipet volume dan corong kaca.

Preparasi dan Aktivasi Adsorben

Alofan ditumbuk halus kemudian diayak. Serbuk direndam air suling dan disaring. Hasil penyaringan dikeringkan pada suhu 105⁰C selama sekitar 4 jam. Alofan diaktivasi secara kimia dengan perendaman dalam larutan NaOH 3N selama 1 jam.

Pasir kuarsa dibersihkan dari kotoran-kotoran, ditumbuk halus kemudian diayak. Serbuk dicuci dengan HNO₃ 0,1 M sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Pencucian dilakukan sebanyak 3 kali dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan. Serbuk pasir kuarsa yang sudah kering diaktivasi. Sebanyak 165 gram pasir kuarsa dan 135 gram natrium bikarbonat dicampurkan, dimasukkan dalam krusibel lalu dipanaskan sampai temperature 110⁰C selama 2 jam. Lelehan didinginkan dan digerus mejadi serbuk.

Analisis *Fourier Transform-Infra Red* (FTIR)

Analisis alofan dan pasir kuarsa dengan FTIR menggunakan teknik butiran KBr, yaitu pelet dibuat dengan cara mencampurkan 2% (b/b/b) adsorben dalam KBr. Sampel pelet dianalisis dengan FTIR pada daerah pengamatan bilangan gelombang 400-4000 cm⁻¹.

Analisis *Surface Area Analyzer* (SAA)

Analisis alofan dan pasir kuarsa dengan SAA menggunakan mekanisme adsorpsi gas, umumnya gas yang digunakan adalah nitrogen. Sampel yang digunakan berkisar 0,01-0,1 gram, dilakukan proses penghilangan gas-gas yang terserap (degassing). Degassing berfungsi untuk menghilangkan gas-gas yang terserap pada permukaan sampel padatan dengan cara memanaskan dalam kondisi vakum. Setelah proses degassing, sampel ditimbang lagi beratnya agar diketahui berat sampel yang sebenarnya setelah dibersihkan dari gas-gas yang terjerap. Sampel dianalisis untuk mendapatkan luas permukaan dan distribusi pori menggunakan gas nitrogen pada suhu 288 °C dan bath temperatur 77,3 K.

Pembuatan Larutan Pengencer HNO₃ 0,05 M

Sebanyak 3,5 ml larutan HNO₃ pekat dimasukkan dalam labu ukur 1000 ml kemudian di tambahkan aquades sampai batas.

Pembuatan Larutan Standar Fe 20 ppm

Sebanyak 1 ml larutan induk Fe 1000 ppm diencerkan dalam labu ukur 50 ml dengan larutan pengencer HNO₃ 0,05 M.

Pembuatan Larutan Standar Fe 0 ppm; 1 ppm; 2 ppm; 4 ppm; 8 ppm dan 16 ppm

Larutan standar Fe 0; 1; 2; 4; 8 dan 16 ppm dibuat dengan mengencerkan larutan standar Fe 20 ppm menggunakan rumus $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$ sampai volume dan konsentrasi yang dibutuhkan. Larutan kerja satu per satu diukur serapannya menggunakan AAS.

Optimasi Perbandingan Komposisi Massa Adsorben Alofan dan Pasir Kuarsa

Membuat komposit dengan variasi perbandingan komposisi massa adsorben antara alofan dan pasir kuarsa yaitu 0:100; 25:75; 50:50; 75:25 dan 100:0. Pencampuran masing-masing variasi komposisi dilakukan dengan menggunakan

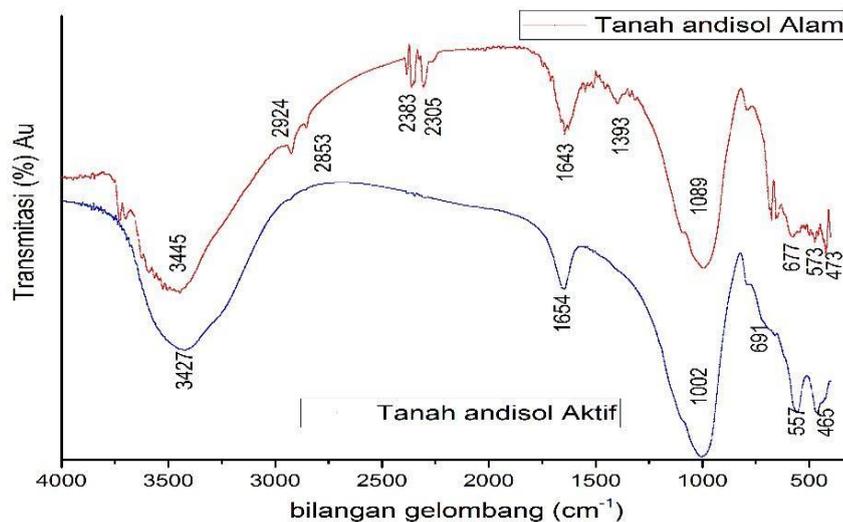
pengadukan (*stirrer*) selama 1 jam, kemudian disaring dan fase padat dicuci dengan aquades. Hasil komposisi yang dihasilkan dipanaskan pada suhu 150⁰C selama 4 jam. Fase padat yang kering lalu digerus dengan lumpang dan diayak dengan ayakan 150 mesh. Adsorben kemudian digunakan untuk uji adsorpsi guna mencari kondisi optimum terhadap penyerapan larutan logam Fe.

Optimasi Waktu Kontak Adsorben

Sebanyak 0,1 gram komposit alofan dan pasir kuarsa pada komposisi optimum dicampur dengan 10 ml larutan Fe 6 ppm, diaduk dengan variasi waktu kontak 30, 60, 90 dan 120 menit dengan kecepatan konstan pada suhu kamar. Campuran disaring dan filtrat diukur menggunakan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

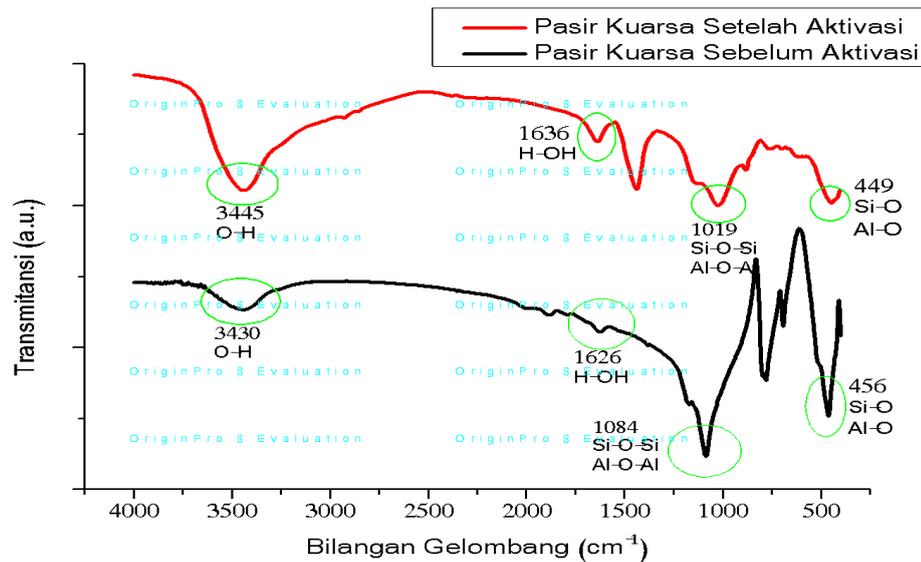
Hasil Analisis FTIR Alofan Sebelum dan Sesudah Aktivasi



Gambar 1. Spektra FTIR sampel alofan sebelum dan sesudah aktivasi

Alofan memiliki empat area utama untuk adsorpsi inframerah. Wilayah pertama terletak di 3475-3500 cm⁻¹. Wilayah penyerapan pada bilangan gelombang itu menunjukkan adanya getaran regangan kelompok -OH. Keberadaan gugus -OH memperkuat penyerapan yang cukup lemah pada kisaran 1645 cm⁻¹. Gugus fungsi kedua terdeteksi pada serapan 1400 dan 1440 cm⁻¹, yang merupakan vibrasi deformasi H-OH dari air yang teradsorpsi. Wilayah ketiga muncul pada rentang bilangan gelombang 800-1400 cm⁻¹ yang dikenal sebagai sidik jari, karena merupakan karakteristik getaran Al-OH dan Si-OH. Gugus fungsi terakhir terletak dalam rentang bilangan gelombang 400-800 cm⁻¹ akibat keberadaan ikatan Si-O. Spektra inframerah mengalami perubahan selama aktivasi alofan. Puncak hilang pada bilangan gelombang 2924 dan 2853 cm⁻¹, yang menunjukkan serapan gugus CH₂CH₃, dan intensitas turun pada bilangan gelombang 1393 cm⁻¹, yang menunjukkan serapan gugus fungsi C-O. Ini karena proses aktivasi dapat melarutkan zat pengotornya organik selama pencucian.

Analisis FTIR Pasir Kuarsa Sebelum dan Sesudah Aktivasi



Gambar 2. Spektra FTIR sampel pasir kuarsa sebelum dan sesudah aktivasi

Setelah aktivasi, pasir kuarsa menunjukkan peningkatan bilangan gelombang dari 3430 cm^{-1} menjadi 3445 cm^{-1} , menunjukkan serapan OH stretch dan pelebaran puncak. Angka gelombang yang berubah dari 1084 cm^{-1} menjadi 1019 cm^{-1} ditunjukkan pada puncak penyerapan Si-O-Si atau Al-O-Al pada pasir kuarsa aktif. Ini menunjukkan bahwa pasir kuarsa memiliki kelompok aktif Si-OH dan Al-OH, seperti yang ditunjukkan oleh data FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Analisis SAA

Salah satu faktor yang dapat memengaruhi kemampuan adsorpsi suatu adsorben adalah luas permukaan. Luas permukaan memberikan ukuran area pada permukaan adsorben selama proses adsorpsi logam besi. Semakin besar luas permukaan adsorben, semakin besar kemampuannya.

Tabel 1. Hasil Analisis Luas Permukaan

Sampel	Luas Permukaan (m^2/g)
Alofan	24,8
Pasir Kuarsa	17,5

Alofan aktif memiliki area permukaan yang lebih besar daripada pasir kuarsa aktif karena komposisi mineral yang berbeda dari masing-masing adsorben. Alofan adalah salah satu contoh mineral amorf. Sifat amorf biasanya memiliki luas permukaan yang lebih besar daripada mineral kristalin karena ukuran kristalnya yang lebih kecil. Saat logam besi (Fe) teradsorpsi dalam larutan, luas permukaan ini membantu menyediakan area pada permukaan alofan dan pasir kuarsa.

Hasil Uji Kinerja Adsorben

Faktor-faktor seperti ukuran partikel, waktu kontak, suhu, dan tingkat keasaman (pH) memengaruhi proses adsorpsi. Metode adsorpsi adalah teknik yang cukup mudah, efektif, dan sering diterapkan (Tan dan Hameed, 2017).

Tabel 2 Absorbansi Larutan Standar Logam Fe

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	-0.0002
1	0.0266

2	0.0543
8	0.2957
16	0.6346

Tabel 3 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Perbandingan Komposisi massa Alofan dan Pasir Kuarsa

Komposisi Massa (Alofan :Pasir Kuarsa)	C awal	C akhir	C teradsorp	Persentase teradsorp (%)	Kapasitas (mg/ g)
0:100	12.017	4.6603	7.3567	61.22	0.73567
25:75	12.017	4.3788	7.6382	63.56	0.76382
50:50	12.017	3.8845	8.1325	67.67	0.81325
75:25	12.017	4.2479	7.7691	64.65	0.77691
100:0	12.017	4.6404	7.3766	61.38	0.73766

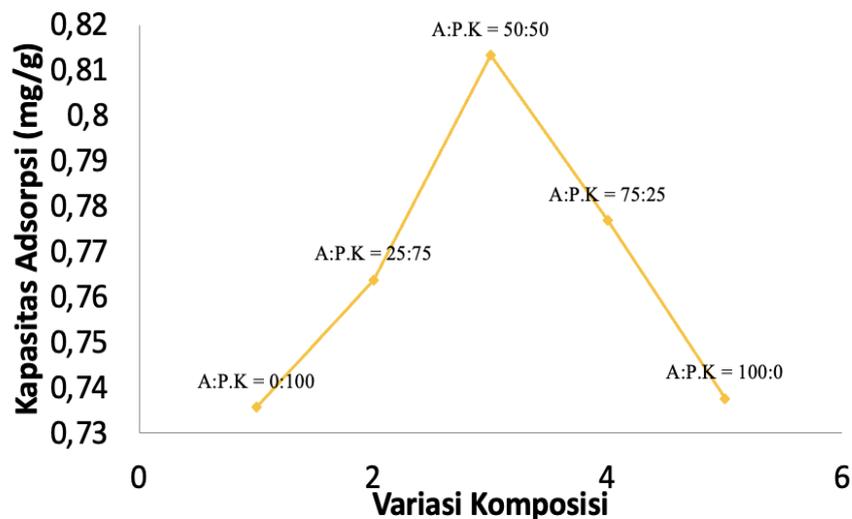
Tabel 4 Data Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak

Waktu kontak (menit)	C awal	C akhir	C teradsorp	Persentase teradsorp (%)	Kapasitas (mg/ g)
15	12.017	4.3914	7.6256	63.46	0.76256
30	12.017	4.0824	7.9346	66.03	0.79346
60	12.017	3.8493	8.1677	67.97	0.81677
90	12.017	3.9608	8.0562	67.04	0.80562
120	12.017	4.0469	7.9701	66.32	0.79701

Besi, seperti arsenik (As), timbal (Pb), besi (Fe), kadmium (Cd), dan merkuri, adalah salah satu logam berat yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Karena logam berat tidak dapat lenyap dan dapat terakumulasi kembali melalui rantai makanan, mereka membahayakan biota baik di darat maupun di laut. Karena daya tahan logam berat di lingkungan, pencemaran perairan sangat berbahaya, terutama untuk budidaya ikan dan udang (Syakti et al., 2015; Ju et al., 2017; Garai et al., 2021). Jika logam berat terkena konsentrasi yang tinggi, dapat berbahaya. Oleh karena itu, paparan logam berat harus diperhatikan (Sfakianakis et al., 2015). Untuk memahami kapasitas dan efisiensi adsorpsi, dosis adsorben yang ideal sangat penting dalam penelitian adsorpsi (Kamal, S.B. & Upendra, K., 2021).

Optimasi Komposisi Massa Adsorben

Salah satu komponen penting dalam proses penyerapan dan adsorpsi adalah massa adsorben (Kanu dkk., 2016). Optimasi komposisi dilakukan pada waktu kontak 60 menit dengan perbandingan alofan/pasir kuarsa 0:100; 25:75; 50:50; 75:25; 100:0.



Gambar 3. Pengaruh Variasi Komposisi Massa Adsorben Alofan dan Pasir Kuarsa terhadap Kapasitas Adsorpsi

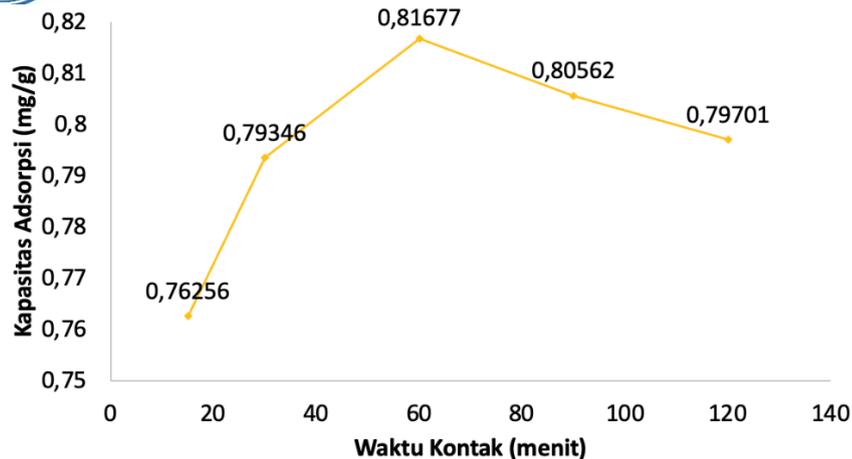
Kondisi terbaik adsorben untuk penyerapan ion logam besi (Fe) adalah rasio alofan dan pasir kuarsa 50:50 dengan kapasitas adsorpsi 0,81325 mg/g dan persentase penyerapan 67,67%. Pada massa yang lebih kecil, terdapat interaksi antara gugus aktif dan kapasitas serapan yang mengakibatkan persentase efisiensi adsorpsi yang rendah (Ahmed, dkk., 2016).

Hasil uji menunjukkan bahwa alofan dan pasir kuarsa saling berkontribusi dalam menyerap ion logam besi (Fe). Hal ini disebabkan oleh rasio 50:50 campuran adsorben, yang meningkatkan area permukaan pada bidang penyerapan, menyediakan lebih banyak situs aktif. Gabungan adsorben 50:50 yang memiliki lebih banyak situs aktif akan meningkatkan interaksi kelompok aktif dengan ion logam besi (Fe), sehingga menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi (Strada, 2013).

Akibat jumlah gugus aktif yang lebih sedikit yang tersedia, kapasitas adsorpsi dari kombinasi dua komponen adsorben biasanya lebih rendah dibandingkan dengan masing-masing komponen adsorben secara terpisah. Dengan massa adsorben yang lebih tinggi, kemampuan adsorpsi juga cenderung menurun karena penyerapan adsorben telah mencapai batas maksimum dalam kondisi optimal. Agregasi adsorben dapat mempengaruhi luas permukaan, menghalangi akses ion logam ke tempat aktif untuk penyerapan. Hal ini memungkinkan terjadinya (Imran dkk., 2019).

Optimasi Waktu Kontak Adsorben

Waktu kontak adalah salah satu faktor yang penting dalam proses penyerapan logam berat (Moghaddam dkk., 2020). Waktu kontak optimum adalah durasi yang diperlukan agar adsorbat dan adsorben mencapai keseimbangan dalam proses adsorpsi.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi Adsorben Alofan dan Pasir Kuarsa

Dalam waktu kontak 60 menit, adsorben dapat menyerap ion logam besi (Fe) dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,81677 mg/g dan persentase penyerapan mencapai 67,97%. Ini menunjukkan bahwa saat ini terdapat keseimbangan adsorpsi antara konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi dan yang masih tersisa dalam larutan (Arivoli et al., 2013). Secara umum, semakin lama waktu kontak, maka adsorpsi akan meningkat, kemudian diikuti oleh penurunan. Kapasitas adsorpsi bertambah sebanding dengan waktu kontak. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan kekuatan gugus fungsi aktif dari adsorben saat berinteraksi dengan logam berat (Imran dkk., 2019).

Setelah 60 menit kontak, titik optimum tercapai, menandakan bahwa konsentrasi adsorbat yang terikat dan masih terdapat dalam larutan telah seimbang. Semakin lama waktu kontak, efisiensi adsorben dalam menyerap bertambah. Setelah kontak selama sembilan puluh menit, kemampuan adsorpsi berkurang, menandakan bahwa permukaan adsorben telah jenuh dengan larutan logam. Akibatnya, logam terlepas dari larutan atau mengalami desorpsi karena tidak tersedianya situs aktif di permukaan adsorben yang bisa berikatan dengan ion logam besi (Fe). Kontak dan berat biosorbent juga berpengaruh terhadap desorpsi (Xie et al., 2018).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi, disimpulkan bahwa kondisi optimum untuk adsorpsi alofan dan pasir kuarsa dalam menyerap logam besi (Fe) dengan variasi komposisi massa terjadi pada komposisi alofan/pasir kuarsa (50:50) dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,81325 mg/g dan persentase penyerapan 67,67%. Kondisi optimal untuk adsorpsi alofan dan pasir kuarsa dalam menyerap logam besi (Fe) dengan variasi waktu kontak terjadi pada waktu 60 menit, dengan kapasitas adsorpsi mencapai 0,81677 mg/g dan persentase penyerapan sebesar 67,97%.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, A. S., Mohammed-Ridha, M. J. & Raof, N. N. (2016). Kinetic, Thermodynamic, and Equilibrium Biosorption of Pb (II), Cu (II), and Ni (II) using Dead Mushroom Biomass Under Batch Experiment. *Bioremediation Journal*, 20, 252-261.



- Arivoli, S., Marimuthu, V., and Jahangir, A. R. M., (2013). Kinetics of Batch Adsorption of Iron (II) Ions from Aqueous Solution using Activated Carbon from *Strychnos Nux-Vomica* L. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(12), 407-417.
- Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *Journal of Environmental Management*, 92, 407-418.
- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., Saha, N.C. (2021). Effect of Heavy Metals on Fishes: Toxicity and Bioaccumulation. *J. Clin. Toxicol.* 11, 1.
- Imran, M., Anwar, K., Akram, M., Shah, G. M., Ahmad, I., Shah, N. S., Khan, Z. U. H., Rashid, M. I., Akhtar, M. N., Ahmad, S., Nawaz, M. & Nawaz, M. (2019). Biosorption of Pb (II) from Contaminated Water onto *Moringa oleifera* Biomass: Kinetics and Equilibrium Studies. *International Journal of Phytoremediation*, 21, 777-789.
- Ju, YR., Chen, CW., Chen, CF., Chuang, XY., dan Dong, C. (2017). Assessment of heavy metals in aquaculture fishes collected from southwest coast of Taiwan and human consumption risk. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 124, 314-325.
- Kamal, S. B., & Upendra, K. (2021). Adsorption of Brilliant Green Dye from Aqueous Solution onto Chemically Modified Arecanut Husk. *South African Journal of Chemical Engineering*, 35, 33-34.
- Nasution, H. I., & Silaban, S. (2017). Analisis logam berat Pb dan Cd dalam air sumur di sekitar lokasi pembuangan sampah akhir. *Jurnal ITEKIMA*, 1(1), 18-24.
- Ningsih, D. A., Said, I., & Ningsih, P. (2016). Adsorpsi logam timbal (Pb) dari larutannya dengan menggunakan adsorben dari tongkol jagung. *Jurnal Akademi Kimia*, 5(2), 55-60.
- Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M., Tsatsakis, A.M. (2015). Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environ. Res.* 137, 246–255.
- Strada, L., Martini, P., Boschi, A., Uccelli, L., Pasquali, M., Duatti, A., Salvini, A. & Groppi, F. (2013). *Extraction Techniques of ^{99m}Tc from ¹⁰⁰Mo Metal Target*. Firenze: Universita Degli.
- Syakti, A.D., Demelas, C., Hidayati, N. V., Rakasiwi, G., Vassalo, L., Kumar, N., Prudent, P., Doumenq, P. (2015). Heavy metal concentrations in natural and humanimpacted sediments of Segara Anakan Lagoon. Indonesia. *Environ. Monit. Assess.* 187.
- Tan, K. L., & Hameed, B. H. (2017). Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 74, 25-48.
- Wessling, R. M. (2017). Excess Iron: Considerations Related to Development and Early Growth. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 106(6), 1600-1605.
- Xie, S., Wen, Z., Zhan, H. & Jin, M. (2018). An Experimental Study on the Adsorption and Desorption of Cu (II) in Silty Clay. *Geofluids*, 2018, 1-13.
- Zhang, Z., Yehong, C., Daiqi, W., Dongmei, Y., & Chaojun, W. (2023). Lignin-based Adsorbents for Heavy Metals. *Industrial Crops and Products*, 193, 116-119.