

## ***Studi Isotherm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) Menggunakan Abu POFA Teraktivasi.***

**Mohd Hilal Assegaf<sup>1)</sup>, Rosyani<sup>2)</sup>, Zulkifli Alamsyah<sup>3)</sup>**

<sup>123</sup>Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Jambi : e-mail hilalassegaf27@gmail.com

### **Abstract**

*Tujuan pada penelitian ini adalah menganalisis perbandingan kemampuan abu boiler dan abu incenerator dalam menurunkan kadar logam Fe pada Air Asam Tambang (AAT), menganalisis pengaruh variasi massa dan variasi pH adsorben POFA serta analisis kemampuan adsorpsi. Adapun alur dalam penelitian ini aktivasi adsorben, pengambilan sampel AAT, pengujian kondisi awal sampel AAT yang meliputi pengujian pH dan Fe dan tahap eksperimen adsorpsi AAT volume sampel air asam tambang 250 ml setiap percobaan, kecepatan pengadukan 300 rpm dan waktu kontak selama 3 jam dengan massa adsorben yang digunakan 2,5 g, 5 g dan 10 g, serta variasi pH 5, 7 dan 9, tahap analisa data kemampuan daya adsorpsi. Berdasarkan hasil penelitian abu boiler lebih baik dalam mengadsorpsi AAT, semakin besar massa adsorben POFA memiliki kemampuan menurunkan logam Fe karena persentase removal semakin besar. pH terbaik untuk perlakuan adsorpsi ialah pada pH 7 yaitu pH netral, massa adsorben yang digunakan didapatkan masa yang paling optimal adalah 10 g dengan nilai pH 7. Nilai regresi R<sup>2</sup> pada Isoterm Langmuir yang lebih tinggi dibandingkan nilai R<sup>2</sup> pada Isoterm Freundlich, maka Isotherm Langmuir lebih baik untuk mengetahui seberapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben*

Kata kunci : Abu Kelapa Sawit, Adsorben, Logam Besi, Air Asam Tambang

### **PENDAHULUAN**

Produksi CPO (Crude Palm Oil) di Indonesia meningkat dari 31 juta ton pada tahun 2015 menjadi 42,9 juta ton pada tahun 2018 dan diperkirakan akan menjadi 49,1 juta ton di tahun 2020. Dihasilkan 3% berat palm kernel cake, 11% berat sabut sawit, 6% berat cangkang, dan 21% tandan kosong sawit (TKS) untuk tiap satuan massa tandan buah segar. Pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS), sabut (fiber) dan cangkang kelapa sawit digunakan sebagai bahan bakar boiler, dimana dihasilkan sekitar 3-5 ton/minggu kerak boiler. Sekitar 85% fiber dan 15% cangkang kelapa sawit dan TKS digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan steam. Diperkirakan sekitar 5% dari

bahan bakar boiler tersebut tidak terbakar dengan sempurna dan menghasilkan abu sehingga menjadi limbah yang belum dimaksimalkan penggunaannya (Fauzi, 2012).

Pengolahan atau pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit di Indonesia sendiri pun saat ini masih sangat terbatas. Biasanya tandan kosong akan dibakar pada incenerator hingga berubah menjadi abu. Biasanya abu tersebut akan dikumpulkan pada suatu tempat dan tidak dilakukan pengolahan lebih lanjut (Hudori, 2008). Pada lokasi penelitian yaitu PT Angso Duo Sawit diperkirakan jumlah abu incenerator yang dihasilkan ialah  $\pm$  28 ton per bulan (PT ADS, 2023). Febrina (2015) dalam penelitiannya menyatakan bahwa abu memiliki konsentrasi pH yang cukup tinggi yaitu 12,5. Abu dalam jumlah banyak akan mempengaruhi konsentrasi pH tanah atau air tanah yang pada akhirnya akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan jika dibiarkan secara terus menerus. Kandungan yang dimiliki oleh abu dapat dimaksimalkan dengan mengkonversinya menjadi produk dengan nilai ekonomi yang tinggi yaitu sebagai adsorben.

Kandungan utama pada limbah POFA adalah  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kondisi silika dan alumina dalam limbah POFA yang cukup besar memungkinkan limbah POFA digunakan sebagai adsorben yang potensial. Dengan besarnya kadar kedua komponen tersebut dalam limbah POFA berarti banyak pusat-pusat aktif dari permukaan padatan yang dapat berinteraksi dengan adsorbat (Telaumbauna, 2017). Penggunaan limbah POFA sebagai adsorben sudah banyak dilakukan, diantaranya Najmia, dkk (2021) membuat limbah POFA sebagai adsorben penurunan kadar Besi (Fe), Mangan (Mn) dan kondisi pH dengan memvariasikan suhu aktivasi dari limbah POFA. Viena (2020) telah melakukan penelitian pemberian arang aktif cangkang kelapa sawit dengan aktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  berpengaruh nyata terhadap perubahan kondisi logam berat Fe dan Mn serta pH air sumur. Pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras berwarna putih keabuan akibat pembakaran dengan suhu yang tinggi dengan kandungan silika 89,9105% sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan. Sementara itu, tandan kosong memiliki bahan lignoselulosa sebesar 55-60% berat kering yang memiliki kemampuan mengadsorpsi polutan karena TKKS mengandung gugus aktif  $-\text{OH}$  dan  $-\text{COOH}$ .

Dilain sisi, salah satu dampak negatif dari proses penambangan batu bara adalah timbulnya air asam tambang. Air asam tambang (AAT) merupakan residu yang berasal dari sisa pengolahan bijih setelah target mineral utama dipisahkan. Air asam tambang merupakan air ber-pH rendah ( $\text{pH} < 5$ ) yang mengandung berbagai logam terlarut seperti besi (Fe) serta senyawa sulfat lainnya. Secara mineralogi air asam tambang terdiri atas mineral seperti silika, silikat besi, mangan, magnesium, natrium, kalium, dan sulfida. Selanjutnya mineral mineral tersebut dapat mengalami oksidasi (terutama oksidasi pirit) sehingga membentuk garam-garam yang bersifat asam dengan pH 2,8-3,4 (Najmia dkk, 2021; Gemilar, 2022).

Ion besi (Fe) bervalensi dua umumnya terdapat dalam air tanah secara bersamaan. Fe dalam air dapat menyebabkan kekeruhan, korosi, kesadahan. Logam tersebut dapat menimbulkan dampak berupa terjadinya pencemaran lingkungan, komposisi atau kandungan air di daerah yang terkena air asam tambang dapat mengurangi kesuburan tanah, mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya, dan dapat mengakibatkan korosi pada peralatan tambang (Febrina, 2015). Teknologi yang umum digunakan untuk menyisihkan Fe meliputi teknologi membran, adsorpsi, pertukaran ion, dan presipitasi. Adsorpsi merupakan salah satu proses pengolahan air yang efektif dan sering digunakan untuk menghilangkan logam berat.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait dengan judul “Analisis Pemanfaatan Limbah Abu Kelapa Sawit sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar Logam Fe Pada Air Asam Tambang”

## **METODE**

### **a. Pengambilan Sampel**

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik grab sampling atau sesaat (SNI 6989.59:2008) dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sampel air asam tambang diambil langsung dari area pertambangan batubara. Sample air asam tambang diambil dari settling pond kolam 1 PT X, abu kelapa sawit diambil dari PT Angso Duo Sawit, Desa Tanjung Pauh KM 32, Mestong, Muaro Jambi.
2. Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan dengan gayung bertangkai lalu dituangkan ke dalam wadah.

### **b. Persiapan dan Aktivasi Abu POFA**

Adapun POFA yang digunakan sebagai adsorben dalam penelitian ini adalah POFA hasil pembakaran tankos dari incenerator serta hasil pembakaran cangkang dan fiber dari boiler pabrik kelapa sawit di PT Angso Duo Sawit yang terletak di Desa Tanjung Pauh KM 32 Kecamatan Mestong Kabupaten Muaro Jambi. Sebelum melakukan eksperimen, dipersiapkan terlebih dahulu adsorben POFA. Aktivasi POFA dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Abu POFA terlebih dahulu dicuci menggunakan aquades.
2. Selanjutnya memasukkan abu POFA ke dalam oven dengan suhu 115°C selama 3 jam untuk menghilangkan kadar kandungan air setelah pencucian.
3. Abu yang sudah kering kemudian diayak dengan ukuran 150 mesh untuk mendapatkan ukuran yang seragam.
4. Selanjutnya abu POFA ditimbang sebanyak 10 gr lalu dimasukkan ke dalam gelas piala kemudian diaktivasi dengan direndam ke dalam larutan pengaktif berupa  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,1 M 30 ml selama 24 jam.
5. Selanjutnya abu tankos dicuci kembali dengan aquades agar menghilangkan sisa  $\text{NH}_4\text{Cl}$  yang masih tersisa setelah proses perendaman.
6. Abu kemudian ditiriskan dengan menggunakan kertas saring dengan tujuan memisahkan abu POFA dengan larutan.
7. Abu POFA kemudian dikeringkan kembali ke dalam oven selama 115 °C selama 3 jam.
8. Abu POFA siap digunakan untuk prosedur adsorpsi

### **Analisis Adsorpsi**

Dalam penelitian ini dilakukan sistem adsorpsi secara batch yakni dengan mencampurkan adsorben ke dalam sampel pengujian dengan jumlah yang sudah ditentukan (2,5 g, 5 g dan 10 g). kemudian diaduk dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Untuk tiap-tiap variasi adsorben dilakukan variasi waktu pH yaitu 5,7 dan 9. Adapun langkah-langkah eksperimen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Dimasukkan sampel air asam tambang ke dalam beaker glass.

2. Ditambahkan adsorben yang telah diaktivasi ke dalam masing-masing glass sebanyak 0g (sebagai kontrol kondisi awal), 2,5 g, 5g dan 10 g secara berurut.
3. Kemudian dilakukan waktu pengadukan 30 menit untuk setiap 2,5g, 5 g dan 10 g jumlah adsorben.
4. Selanjutnya sampel didiamkan selama tiga jam hingga padatan dari adsorben terendapkan.
5. Setelah 3 jam larutan adsorpsi di saring menggunakan kertas saring kemudian dilakukan analisa parameter logam Fe

### **Analisis Logam Fe**

Analisis uji Fe pada penelitian ini digunakan acuan SNI 6989:4:2009 Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Persiapan pengujian
  - Persiapan contoh uji besi terlarut
  - Persiapan contoh uji besi total
  - Pembuatan larutan induk logam besi 100 mg Fe/l
  - Pembuatan larutan baku logam
  - Pembuatan larutan baku logam besi
2. Pembuatan kurva kalibrasi dan persiapan contoh uji
  - Pembuatan kurva kalibrasi
  - Pengukuran contoh uji

Uji kadar besi dengan tahapan mengaspirasikan contoh uji ke dalam SSA-nyala lalu ukur serapannya pada panjang gelombang 248,3 nm. Bila diperlukan, lakukan pengenceran, kemudian catat hasil pengukuran. Perhitungan

Kadar logam besi (Fe)

$$\text{Fe (mg/l)} = C \times \text{fp}$$

Keterangan:

C = kadar yang didapat hasil pengukuran (mg/l)

fp = faktor pengenceran

### **Teknik Analisis Data**

Untuk menganalisis tujuan pada penelitian ini digunakan metode analisis data yaitu dengan menentukan apakah Limbah abu POFA dapat efektif dijadikan sebagai adsorben logam Fe pada air asam tambang dan mengetahui efektifitas penyerapan adsorben yang telah diaktivasi melalui pengujian di laboratorium dapat ditentukan dengan rumus:

$$Q_e = ((C_o - C_e)) / W \times V$$

Keterangan:

Q<sub>e</sub> = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

C<sub>o</sub> = Kandungan awal polutan (mg/L)

C<sub>e</sub> = Kandungan akhir polutan (mg/L)

W = massa adsorben (g)

V = volume sampel yang digunakan (L)

Model adsorpsi Isoterm diklorometana pada permukaan granular karbon aktif dapat diketahui dengan cara mengaplikasikan persamaan Langmuir dan Freundlich. Persamaan Langmuir dituliskan sebagai berikut:

$$C_e/q_e = 1/(q_e \cdot K_L) + C_e/q_m$$

Sedangkan persamaan Freundlich ditulis sebagai berikut:

$$x/m = K_f \cdot [C_e]^{1/n} \text{ atau}$$

Bila Isoterm mengikuti metode Langmuir maka dibuat plot antara  $C_e/q_e$  dengan  $C_e$  memberikan hasil yang linier. Sedangkan bila mengikuti model Freundlich maka plot antara  $q_e$  dengan  $\log C_e$  menghasilkan hasil yang linier.

Keterangan:

$C_e$  = konsentrasi kesetimbangan analit dalam larutan (mg/L)

$q_e$  = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

$K_L$  = kapasitas adsorpsi Langmuir (L/mg)

$q_m$  = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

$K_f$  = konstanta Freundlich (mg/g) (L/mg)<sup>1/n</sup>

1/n = faktor heterogenitas

## HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL

Analisis penggunaan abu limbah POFA dapat dilihat kemampuan antara limbah abu boiler dan abu insenerator pada Tabel 4.2 di bawah ini. Dapat dilihat bahwa abu boiler lebih baik sebagai adsorben % removal rata sebesar 98,261% pada pH 5, 98,198% pada pH 7 dan 94,498% pada pH 9 sedangkan pada abu insenerator persen removal rata 68,841% pada pH 5, 97,297% pada pH 7 dan 92,557% pada pH 9. Maka dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa abu boiler lebih baik dibandingkan abu incenerator dalam mengadsorpsi logam Fe pada Air Asam Tambang (AAT). Hal ini dikarenakan kandungan silika 89,9105% pada abu boiler sehingga sangat potensial untuk digunakan pada proses adsorpsi (Sandi, 2014). Setelah melakukan analisa perhitungan terhadap sampel air limbah Air Asam Tambang (AAT) maka didapatkan hasil kapasitas adsorpsi logam Fe yang disajikan pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Kemampuan adsorpsi logam Fe pada limbah Air Asam Tambang (AAT)

Adsorben	Kode Sampel	Massa Adsorben (pH)	Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi awal Fe (mg/L)	Konsentrasi Akhir Fe (mg/L)	Teradsorpsi	% Removal	% Removal rata
Abu Boiler	B1.5	2,5	180	0,0230	0,0006	0,0224	97,39	98,261
	B2.5	5		0,0230	0,0004	0,0226	98,26	
	B3.5	10		0,0230	0,0002	0,0228	99,13	
	B4.7	7		2,5	0,0148	0,0004	0,0144	

Adsorben	Kode Sampel	pH	Massa Adsorben (g)	Waktu	Konsentrasi awal	Konsentrasi Akhir	Teradsorpsi	% Removal	% Removal rata
				Kontak (menit)	Fe (mg/L)	Fe (mg/L)			
Abu Incenerator	B5.7		5		0,0148	0,0002	0,0146	98,65	
	B6.7		10		0,0148	0,0002	0,0146	98,65	
	B7.9		2,5		0,0103	0,0008	0,0095	92,23	
	B8.9	9	5		0,0103	0,0006	0,0097	94,17	94,498
	B9.9		10		0,0103	0,0003	0,0100	97,09	
	I1.5		2,5		0,0230	0,0079	0,0151	65,65	
	I2.5	5	5		0,0230	0,0069	0,0161	70,00	68,841
	I3.5		10		0,0230	0,0067	0,0163	70,87	
	I4.7		2,5		0,0148	0,0006	0,0142	95,95	
	I5.7	7	5		0,0148	0,0004	0,0144	97,30	97,297
	I6.7		10		0,0148	0,0002	0,0146	98,65	
	I7.9		2,5		0,0103	0,0012	0,0091	88,35	
	I8.9	9	5		0,0103	0,0006	0,0097	94,17	92,557
	I9.9		10		0,0103	0,0005	0,0098	95,15	

\*)Sumber : Laboratorium BSIP-KAN Jambi, 2023

Dari hasil pengujian parameter awal pada limbah Air Asam Tambang (AAT) tersebut menunjukkan bahwa kondisi awal limbah memiliki nilai pH dan Fe yang tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Kehutanan RI No.05 Tahun 2022. Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan limbah penatu dengan menggunakan adsorben POFA yang sudah diaktivasi sebelumnya dengan variasi massa adsorben yaitu 2,5 g dan 10 g untuk mengetahui pengaruh penambahan massa terhadap nilai parameter pH dan Fe pada limbah Air Asam Tambang (AAT). Menurut Anggraini (2017) massa adsorben adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi.

Dari Tabel 4.2 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi logam Fe pada limbah Air Asam Tambang (AAT). Hal tersebut menunjukkan bahwa adsorben POFA memiliki kemampuan menurunkan logam Fe pada limbah Air Asam Tambang (AAT). Untuk mengetahui persentase kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi adsorbat, maka perlu diketahui persentase penghilangan adsorbat. Persentase removal adsorpsi adsorben POFA memiliki nilai yang bervariasi. Didapatkan kapasitas adsorpsi paling tinggi adalah pada variasi massa adsorben 10 gr.

Hasil analisis kadar logam Fe dalam air asam tambang dengan perlakuan jumlah dosis abu boiler kelapa sawit dengan waktu pengujian yang berbeda tidak menunjukkan perubahan dari hasil pengujian awal sebelum perlakuan. Hasil analisis yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar logam Fe sangat kecil dan tidak terdeteksi oleh AAS (<0,1 mg/L). Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa tidak ada penurunan kadar Fe di dalam AAT setelah perlakuan yang dapat kita lihat pada Tabel 4.2. Hasil penelitian Susana et al., (2021) menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan abu

boiler kelapa sawit dapat menurunkan kandungan Fe di dalam air sumur bor dari 13,39 mg/L menjadi 0,25 mg/L.

### **Analisis Model Isotherm Adsorpsi**

Tujuan menggunakan Isotherm Langmuir dan Freundlich dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan yang dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben. Isotherm Langmuir digunakan dengan asumsi bahwa lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer yang ikatan adsorben dengan adsorbatnya cukup kuat karena terbentuknya suatu ikatan kimia sedangkan Isotherm Freundlich digunakan dengan asumsi bahwa lapisan multilayer yang ikatan antara adsorben dengan adsorbatnya terjadi karena gaya Van Der Waals sehingga ikatannya tidak terlalu kuat. Untuk mengetahui persamaan Isotherm yang akan digunakan dalam penentuan kapasitas adsorpsi adsorben terhadap logam Fe, maka dilakukan perhitungan dan pengolahan data dengan menggunakan masing-masing persamaan Isotherm, Kemudian akan dipilih persamaan yang akan menghasilkan garis regresi yang paling linear dengan konstanta regresi linear ( $R^2$ ) yang terbesar (Restu, 2009).

Penentuan isotherm adsorpsi dilakukan untuk menentukan performa penyerapan atau model kesetimbangan yang digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis karakteristik isotherm berupa kapasitas dan mekanisme proses biosorpsi. Persamaan isotherm adsorpsi yang dibahas dalam percobaan ini adalah Langmuir dan Freundlich. Penentuan isotherm adsorpsi yang sesuai dengan percobaan ini dapat dibuktikan melalui koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang ditunjukkan pada grafik linearisasi kedua model tersebut.

Untuk mengetahui angka konstanta regresi linier atau ( $R^2$ ) maka terlebih dahulu harus diketahui nilai berikut ini:

- m = massa Adsorben
- Ce = konsentrasi polutan setelah dimasukkan adsorben
- X = massa adsorben yang ter adsorpsi
- x/m = jumlah adsorbat dibagi massa adsorben
- ln x/m = nilai ln dari jumlah adsorbat dibagi massa adsorben
- ln Ce = nilai ln dari polutan yang tersisa
- 1/(1x/m) = nilai jumlah dari satu dibagi nilai x/m
- 1/Ce = nilai jumlah dari satu dibagi polutan yang tersisa

Nilai dari masing-masing unsur tersebut diambil dari waktu optimum parameter Fe. Berdasarkan hasil analisis data maka diperoleh grafik perbandingan Isotherm adsorpsi Langmuir dan Isotherm adsorpsi Freundlich dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel untuk melihat nilai konstanta regresi linier atau ( $R^2$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini.

Tujuan menggunakan Isotherm Langmuir dan Freundlich dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan yang dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben. Isotherm Langmuir digunakan dengan asumsi bahwa lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer yang ikatan adsorben dengan adsorbatnya cukup kuat karena terbentuknya suatu ikatan kimia sedangkan Isotherm Freundlich digunakan dengan asumsi bahwa lapisan multilayer yang ikatan antara adsorben dengan adsorbatnya terjadi karena gaya Van Der Waals sehingga ikatannya tidak terlalu kuat. Untuk mengetahui persamaan Isotherm yang akan digunakan dalam penentuan kapasitas adsorpsi adsorben terhadap logam Fe,

maka dilakukan perhitungan dan pengolahan data dengan menggunakan masing-masing persamaan Isoterm, Kemudian akan dipilih persamaan yang akan menghasilkan garis regresi yang paling linear dengan konstanta regresi linear (R<sup>2</sup>) yang terbesar (Restu, 2009).

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk menentukan performa penyerapan atau model kesetimbangan yang digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis karakteristik isoterm berupa kapasitas dan mekanisme proses biosorpsi. Persamaan isoterm adsorpsi yang dibahas dalam percobaan ini adalah Langmuir dan Freundlich. Penentuan isoterm adsorpsi yang sesuai dengan percobaan ini dapat dibuktikan melalui koefisien korelasi (R<sup>2</sup>) yang ditunjukkan pada grafik linearisasi kedua model tersebut.

Untuk mengetahui angka konstanta regresi linier atau (R<sup>2</sup>) maka terlebih dahulu harus diketahui nilai berikut ini:

m = massa Adsorben

Ce = konsentrasi polutan setelah dimasukkan adsorben

X = massa adsorben yang ter adsorpsi

x/m = jumlah adsorbat dibagi massa adsorben

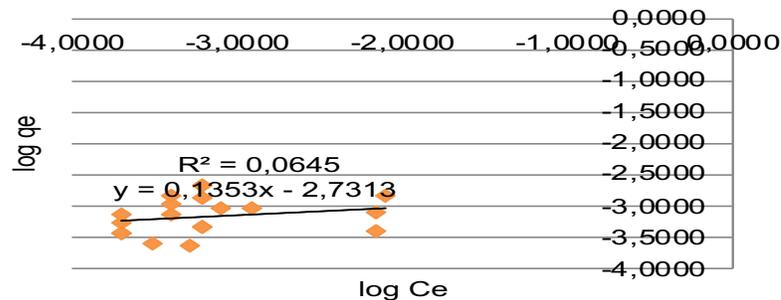
ln x/m = nilai ln dari jumlah adsorbat dibagi massa adsorben

ln Ce = nilai ln dari polutan yang tersisa

1/(1x/m) = nilai jumlah dari satu dibagi nilai x/m

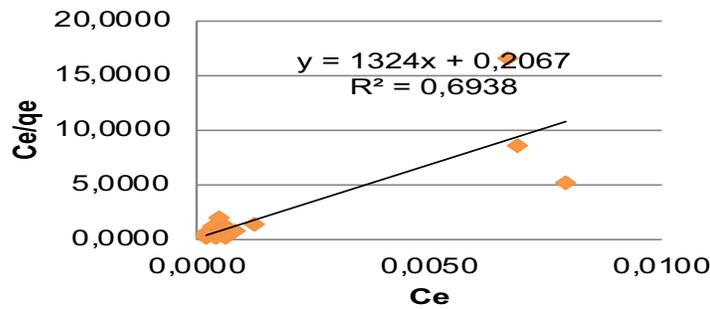
1/Ce = nilai jumlah dari satu dibagi polutan yang tersisa

Nilai dari masing-masing unsur tersebut diambil dari waktu optimum parameter Fe. Berdasarkan hasil analisis data maka diperoleh grafik perbandingan Isoterm adsorpsi Langmuir dan Isoterm adsorpsi Freundlich dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel untuk melihat nilai konstanta regresi linier atau (R<sup>2</sup>) yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini.



**Gambar 1.** Kurva Isoterm Freundlich

\*)Sumber: Data primer diolah, 2023



**Gambar 2.** Kurva Isotherm Langmuir  
\*)Sumber : Data primer diolah, 2023

Berdasarkan gambar dari hasil perhitungan tersebut dapat kita lihat bahwa adsorpsi pada parameter Fe menggunakan POFA mengikuti persamaan Isotherm Langmuir. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai regresi  $R^2$  pada Isotherm Langmuir yang lebih tinggi dibandingkan nilai  $R^2$  pada Isotherm Freundlich. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk nilai  $R^2$  pada parameter Fe adalah 0,0645 dan 0,6938. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini cenderung mengikuti persamaan Isotherm Langmuir yang menyatakan bahwa reaksi adsorpsi terjadi pada lapisan adsorbat terjadi secara multilayer yang ikatan antara adsorben dengan adsorbatnya terjadi karena gaya Van Der Waals sehingga ikatannya tidak terlalu kuat dan untuk kapasitas adsorpsi. Hal ini tidak sejalan dengan penelitian Gobel, dkk (2018), berdasarkan persamaan isotherm Langmuir menunjukkan nilai korelasi ( $R^2$ ) adalah 0,0926, sedangkan isotherm Freundlich yang menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum logam Fe sebesar 4,938 mg/g dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) adalah 0,2317 maka hasil analisis mengikuti model adsorpsi isotherm Freundlich.

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata nilai kesalahan relatif (ARE) Isotherm pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan nilai ARE Isotherm Freundlich sebesar 55,687 dan Isotherm Langmuir menunjukkan nilai ARE sebesar 47,269. Hasil perhitungan kesalahan relatif tersebut menunjukkan nilai kesalahan yang lebih kecil ialah Isotherm Langmuir. Dengan ini menunjukkan bahwa Isotherm Langmuir dianggap lebih baik untuk mengetahui seberapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben karena memiliki nilai rata-rata kesalahan lebih kecil dibandingkan dengan Isotherm Freundlich.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang diperoleh pada adsorpsi air asam tambang dari kedua jenis adsorben lebih mengikuti model isotherm Langmuir, hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) lebih besar dibandingkan dengan model Freundlich. Sehingga dapat diasumsikan bahwa adsorpsi pada adsorbat air asam tambang yang terjadi pada permukaan adsorben bersifat homogen dan adsorbat teradsorpsi dalam bentuk tunggal (monolayer). Hal ini memungkinkan adsorpsi berlangsung secara kimiawi karena secara normal bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan diatas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak dapat bergerak dengan bebas dari permukaan satu kepermukaan lainnya. Sehingga ikatan yang terjadi membentuk lapisan adsorpsi tunggal pada permukaan adsorben (monolayer) (Salmariza Sy, dkk, 2016).

Asumsi pada isotherm Langmuir yaitu molekul yang teradsorpsi tidak berinteraksi, terjadi melalui mekanisme yang sama dan pada adsorpsi maksimum monolayer akan terbentuk.

Isotherm Langmuir ini menggambarkan proses kemisorpsi, terjadi ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat (Sembodo, 2006). Permukaan adsorben bersifat homogen, sehingga energi adsorpsi konstan pada seluruh bagian, tiap atom teradsorpsi pada lokasi tertentu di permukaan adsorben juga tiap bagian permukaan hanya dapat menampung satu molekul atau atom (Ruthven, 1984).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai kemampuan adsorben POFA dalam menetralkan pH dan menurunkan logam Fe maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Abu boiler lebih baik dalam mengadsorpsi AAT dengan persen removal rata lebih tinggi dibandingkan abu insenerator. Semakin besar massa adsorben POFA baik abu boiler maupun abu insenerator memiliki kemampuan menurunkan logam Fe karena persentase removal semakin besar.
2. pH terbaik untuk perlakuan adsorpsi ialah pada pH 7 yaitu pH netral. Dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa dari 3 variasi massa adsorben yang digunakan didapatkan masa yang paling optimal adalah 10 g dengan nilai pH 7. Artinya dengan penambahan massa adsorben POFA mampu menurunkan kadar logam Fe pada Air Asam Tambang (AAT).
3. Nilai regresi  $R^2$  pada Isotherm Langmuir yang lebih tinggi dibandingkan nilai  $R^2$  pada Isotherm Freundlich, maka Isotherm Langmuir dianggap lebih baik untuk mengetahui seberapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorbe..

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, S., (2017) Efektivitas Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Menurunkan BOD dan COD dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Padang Tualang Tahun 2017. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Badan Informasi Geospasial. (2022). Peta Provinsi Jambi. <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 6989-59-2008 tentang Pengambilan Sampel Air Limbah. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- \_\_\_\_\_. (2009). SNI 6989:4:2009 Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Bledzki, A.K., A. A. Mamun, dan J. Volk. (2010). Barly Husk and Coconut Shell Reinforced Polypropylene Composites: The Effect of Fibre Physical, Chemical and Surface Properties. *Journal Composites Science and Technology* 70: 840- 946
- Damanhuri, E., (2008). Pengelolaan Sampah. Diktat Kuliah TI-3104, Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat.
- Fauzi Y., (2012). Kelapa Sawit, Budidaya Pemanfaatan Hasil dan Limbah Serta Analisis Usaha dan Pemasaran. Surabaya: Penebar Swadaya
- Febrina, Laila, Astrid Ayuna. (2015). Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik. *Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Sahid, Jakarta Volume 7 No.1 Januari 2015 ISSN: 2085-1669 e-ISSN:2460-0288.*

- Gemilar, Ihsan. (2021). Pemanfaatan Limbah Abu Boiler Kelapa Sawit Terhadap Perubahan Nilai Dan Kadar Logam (Fe, Mn) Pada Air Asam Tambang
- Gobel, A.P, Edy N, Wawong D.R. (2018). Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Dalam Menetralisir Air Asam Tambang Pada Settling Pond Penambangan Banko PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan Jurusan Teknik Pertambangan, Program Studi Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta. Vol 2, No.1 2018 p. 1 – 11 ISSN: 2549-564X
- Latupeirissa, J.M.F.J.D.P., Tanasale E.G., Fransina A.N. (2022). Synthesis and Characterization of Chitosan-Citrate Microparticle Using Ionic Gelation Methods. Indo. J. Chem. Res., 10(1), 1-7.
- Manikam, Mohan Kumar, Azhar Abdul Halim, and Marlia Mohd Hanafiah.(2019). Pollutants Removal From Sewage Wastewater Using Palm Oil Fuel Ash. AIP Conference Proceedings Volume 2111, Issue 110.1063/1.5111270. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.511127>
- Metcalf and Eddy. (2004). Wastewater Engineering Treatment and Reuse. McGraw-Hill, New York. M. P. Brown and K. Austin, Appl. Phys. Letters 85, 2503–2504 Fourth Edition
- Muhammadin. (2017). Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. Konversi, 3(2), 57-66.
- Nandiyanto, A.B.D. (2020). Isotherm Adsorption of Carbon Microparticles Prepared from Pumpkin (*Cucurbita maxima*) Seeds Using Two-Parameter Monolayer Adsorption Models and Equations. Moroccan Journal of Chemistry, 745-761.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI Nomor 05 Tahun 2022 tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan dengan Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan.
- Puspa, Ayu Nindya. (2018). Mengenal Air Asam Tambang. Teknik Lingkungan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya: Surabaya
- Ramadhani, N. I., Munasir., dan Triwikantoro. (2015). Sintesis dan Karakteristik Serbuk SiO<sub>2</sub> dengan Variasi pH dan Molaritas Berbahan Dasar Pasir Bancar, Tuban, Jurnal Sains dan Seni Pomits, 3, 15-17 .
- Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L. dan Parkin, & Gene F. (1994). Chemistry for Environmental Engineering, 4th edition, McGraw-Hill. New York.
- Sugiyono. (2017). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D. Bandung: Alfabeta
- \_\_\_\_\_. (2013). Statistika Untuk Penelitian. Bandung: Alfabeta
- Salmariza, Sy, dkk. (2016). Adsorpsi Ion Cr (VI) Menggunakan Adsorben dari Limbah Padat Lumpur Aktif Industri Crumb Rubber. Vol. 6 No.4 Hal : 135-145. Baristand Industri Padang.
- Viena V, Bahagia, Afrizal F. (2020). Produksi Karbon Aktif dari Cangkang Sawit dan Aplikasinya Pada Penyerapan Zat Besi, Mangan dan pH Air Sumur.