Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi e-ISSN: 2549-4236, p-ISSN: 1411-8939
Lembaga Penellitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Vol 24, No 2 (2024): Juli, 1327-1334
DOI: 10.33087/jiubj.v24i2.4763

Analisis Pemanfaatan Limbah Abu Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Menurunkan Logam Besi (Fe) pada Air Asam Tambang

Mohd Hilal Assegaf*, Rosyani, Zulkifli Alamsyah
Magister Ilmu Lingkungan, Fakultas Pascasarjana, Universitas Jambi
*Correspondence: hilalassegaf27@gmail.com

Abstrak. 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 Air Asam Tambang (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 2,5g, 5g dan 10g, serta variasi pH 5, 7 dan 9, tahap analisa data kemampuan daya adsorpsi. Berdasarkan hasil penelitian abu boiler lebih baik dalam mengadsorpsi Air Asam Tambang (AAT), semakin besar massa adsorben POFA memiliki kemampuan menurunkan logam Fe karena persentase removal semakin besar. pH terbaik untuk perlakuan adsoprsi adalah pada pH 7 yaitu pH netral, massa adsorben yang digunakan didapatkan masa yang paling optimal adalah 10g dengan nilai pH 7. Nilai regresi pada Isoterm Langmuir yang lebih tinggi dibandingkan nilai Regresi 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

Abstract. *The aim of this research is to analyze the comparative ability of boiler ash and incinerator ash in reducing Fe metal levels in Acid Mine Water, analyze the effect of mass variations and pH variations of the POFA adsorbent and analyze the adsorption ability. The flow in this research is adsorbent activation, taking Acid Mine Water samples, testing the initial conditions of Acid Mine Water samples which include pH and Fe testing and the AAT adsorption experimental stage, acid mine water sample volume 250 ml for each experiment, stirring speed 300 rpm and contact time. for 3 hours with adsorbent masses used of 2.5g, 5g and 10g, and pH variations of 5, 7 and 9, data analysis stage of adsorption capacity data. Based on research results, boiler ash is better at adsorbing Acid Mine Water, the greater the POFA adsorbent mass has the ability to reduce Fe metal because the removal percentage is greater. The best pH for adsorption treatment is pH 7, namely neutral pH, the most optimal mass of adsorbent used is 10g with a pH value of 7. The regression value on the Langmuir Isotherm is higher than the Regression value on the Freundlich Isotherm, so the Langmuir Isotherm is better for find out how much adsorbate mass can be adsorbed by the adsorbent.*

Keywords *: palm oil ash, adsorbent, iron metal, acid mine water*

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. PT Angso Duo Sawit diperkirakan jumlah abu incenerator yang dihasilkan ialah ± 28 ton per bulan. 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 SiO2, Al2O3, dan Fe2O3. 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. 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 H3PO4 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 –OH dan –COOH.

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 (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. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pemanfaatan Limbah Abu Kelapa Sawit sebagai Adsroben dalam menurunkan Kadar Logam Fe pada Air Asam Tambang.

METODE

Pengambilan sampel abu POFA dilakukan di PKS PT Angso Duo Sawit yang terletak di Jalan Raya Tanjung Pauh KM 32, Kecamatan Mestong, Kabupaten Muaro Jambi Provinsi Jambi. Pengambilan sampel Air Asam Tambang dilakukan di PT Caritas Energi Indonesia yang terletak di Km 34 Desa Tanjung Pauh 32, Kecamatan Mestong, Kabupaten Muaro Jambi. Penelitian ini dilaksanakan selama ± 8 bulan efektif dari bulan April-November tahun 2023. Variabel adalah suatu yang dapat membedakan nilai. Nilainya bisa berbeda pada waktu yang berbeda untuk objek yang sama. Adapun variabel penelitian dalam penelitian ini adalah variabel bebas yaitu abu kelapa sawit teraktivasi sedangkan variabel terikat yaitu kandungan Fe pada Air Asam Tambang (AAT).

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; dan (2) Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan dengan gayung bertangkai lalu dituangkan ke dalam wadah. 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

Kabuoaten 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) 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) abu POFA ditimbang sebanyak 10 gr lalu dimasukkan ke dalam gelas piala kemudian diaktivasi dengan direndam ke dalam larutan pengaktif berupa NH4Cl 0,1 M 30 ml selama 24 jam; (5) selanjutnya abu tankos dicuci kembali dengan aquades agar menghilangkan sisa NH4CL 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; dan (8) abu POFA siap digunakan untuk prosedur 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; dan (6) 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
   a. Persiapan contoh uji besi terlarut
   b. Persiapan contoh uji besi total
   c. Pembuatan larutan induk logam besi 100 mg Fe/l
   d. Pembuatan larutan baku logam
   e. Pembuatan larutan baku logam besi
2. Pembuatan kurva kalibrasi dan persiapan contoh uji
   a. Pembuatan kurva kalibrasi
   b. 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)
      Fe (mg/l) = C × fp
      Keterangan: C = kadar yang didapat hasil pengukuran (mg/l)' dan 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 sebgai adsorben logam Fe pada air asam tambang dan mengetahui efektifitas penyerapan adsorben yang telah diaktivasi melalui pengujian di laboratorium dapat ditentukan dengan rumus:

$Qe=((Co-Ce))/W\times V$

Keterangan: Qe = Kapasitas adsorpsi (mg/g); Co = Kandungan awal polutan (mg/L); Ce = 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:

$Ce/qe= 1/(qe.KL)+Ce/qm$. Sedangkan persamaan Freundlich ditulis sebagai berikut: $x/m=K.⟦Ce⟧^{(1/n)}$ atau bila Isoterm mengikuti metode Langmuir maka dibuat plot antara Ce/qe dengan Ce memberikan hasil yang linier. Sedangkan bila mengikuti model Freundlich maka plot antara qe dengan log Ce menghasilkan hasil yang linier.

Keterangan: Ce = konsentrasi kesetimbangan analit dalam larutan (mg/L); qe = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g); KL = kapasitas adsorpsi Langmuir (L/mg); qm = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)' KF =

konstanta Freundlich (mg/g) (L/mg)1/n; 1/n = faktor heterogenitas; dan (Sawyer, dkk, 2004).

HASIL

Analisis Pengujian Logam Fe

Tabel 1 menjelaskan 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. Setelah melakukan analisa perhitungan terhadap sampel air limbah Air Asam Tambang (AAT) maka didapatkan hasil kapasitas adsorpsi logam Fe yang disajikan pada Tabel 1.

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

Adsorben	Kode Sampel	pH	Massa Adsorben (pH)	Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Awal Fe (mg/L)	Konsentrasi Akhir Fe (mg/L)	Teradsorpsi	% *Removal*	% *Removal* rata
Abu Boiler	B1.5	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	97,30	98,198
	B5.7		5		0,0148	0,0002	0,0146	98,65	
	B6.7		10		0,0148	0,0002	0,0146	98,65	
	B7.9	9	2,5		0,0103	0,0008	0,0095	92,23	94,498
	B8.9		5		0,0103	0,0006	0,0097	94,17	
	B9.9		10		0,0103	0,0003	0,0100	97,09	
Abu Incenerator	I1.5	5	2,5		0,0230	0,0079	0,0151	65,65	68,841
	I2.5		5		0,0230	0,0069	0,0161	70,00	
	I3.5		10		0,0230	0,0067	0,0163	70,87	
	I4.7	7	2,5		0,0148	0,0006	0,0142	95,95	97,297
	I5.7		5		0,0148	0,0004	0,0144	97,30	
	I6.7		10		0,0148	0,0002	0,0146	98,65	
	I7.9	9	2,5		0,0103	0,0012	0,0091	88,35	92,557
	I8.9		5		0,0103	0,0006	0,0097	94,17	
	I9.9		10		0,0103	0,0005	0,0098	95,15	

Sumber : Laboratorium BSIP-KAN Jambi (2023)

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 Permen LHK RI No. 5 Tahun 2022. Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan limbah penatu dengan menggunakan adsorben POFA yang sudah diaktivasi sebelumnya dengan variasi massa adsorben yaitu 2,5g, 5g dan 10g untuk mengetahui pengaruh penambahan massa terhadap nilai parameter pH dan Fe pada limbah Air Asam Tambang (AAT). Menurut Anggraini (2017) massaAZ adsorben adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi.

Tabel 1 dapat juga 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). Hasil ini dapat disimpulkan bahwa tidak ada penurunan kadar Fe di dalam AAT setelah perlakuan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

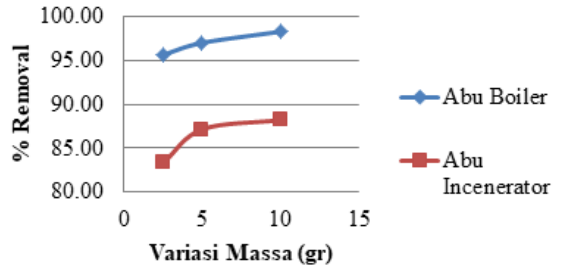
Pengaruh Variasi Massa Adsorben POFA Terhadap Adsorpsi Logam Fe

Massa adsorben adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi (Anggraini, 2017). Dalam penelitian ini ada lima variasi massa yang digunakan yaitu 2,5g, 5g dan 10g untuk mengetahui berapa massa adsorben yang paling efisien dalam menurunkan logam Fe. Penggunaan massa adsorben dalam jumlah yang tepat akan mempengaruhi efisiensi penyisihan atau penurunan konsentrasi polutan,

Tabel 2
Pengaruh massa adsorben terhadap parameter logam Fe

Variasi Massa	*% Removal* Adsorben	
	Abu Boiler	Abu Incenerator
	97,39	65,65
2,5	97,30	95,95
	92,23	88,35
% Removal rata	95,64	83,32
	98,26	70,00
5	98,60	97,30
	94,17	94,17
% Removal rata	97,01	87,16
	99,13	70,87
10	98,65	98,65
	97,09	95,15
% Removal rata	98,29	88,22

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 1
Pengaruh massa adsorben terhadap parameter logam Fe

Gambar 1 dapat dilihat bahwa dengan penggunaan 2,5g dosis adsorben abu boiler dan abu incenerator yang divariasikan mampu menurunkan nilai konsentrasi Fe. Persentase removal menggunakan adsorben abu boiler dosis 2,5g yaitu sebesar 95,64% dan untuk abu incenerator sebesar 83,32%. Dengan penambahan massa adsorben POFA 5g pada perlakuan yang sama didapatkan nilai penurunan menggunakan adsorben abu boiler yaitu sebesar 97,01% dan menggunakan abu incenerator sebesar 87,16%. Penambahan 10g didapatkan nilai penurunan menggunakan adsorben abu boiler yaitu sebesar 98,29% dan menggunakan abu incenerator sebesar 88,22%. Data hasil eksperimen tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar massa adsorben POFA baik abu boiler maupun abu incenerator memiliki kemampuan menurunkan logam Fe karena persentase removal semakin besar.

Penelitian Rapang dkk (2022), pada karbon aktif cangkang telur baik aktivasi fisik maupun kimia penurunan kadar logam besi (Fe) terjadi berbanding lurus seiring penambahan massa adsorben. Hal ini dibuktikan dengan penurunan kadar logam besi (Fe) terbaik yang terjadi pada massa adsorben tertinggi yaitu 20 gram. Dalam penelitian Rapang dkk (2022) disebutkan aplikasi penggunaan *fly ash* skala laboratorium dengan volume AAT 250 ml dengan variasi massa *fly ash* 5, 10 dan 12 gram menunjukkan bahwa adanya penambahan massa *fly ash* dapat menurunkan konsentrasi logam Fe dan Mn. Penyerapan logam Fe dan Mn oleh *fly ash* batubara dapat terjadi karena *fly ash* mengandung senyawa mineral utama yaitu kuarsa (SiO_2) dan mullite ($Al_6Si_2O_{13}$) yang berperan pada proses adsorpsi antara logam berat dengan adsorben *fly ash* dalam larutan mengandung air.

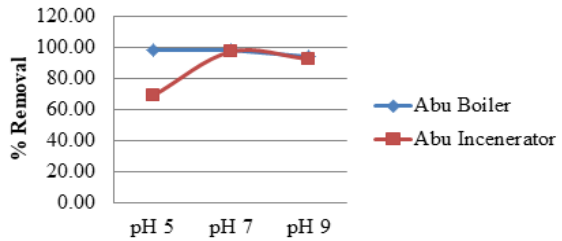
Penelitian Najmia, dkk (2021), arang aktif cangkang kelapa sawit teraktivasi H_3PO_4 telah memenuhi kualitas karakteristik arang aktif sesuai dengan SNI 06-3730-95. Pemberian arang aktif cangkang kelapa sawit dengan aktivasi H_3PO_4 dengan variasi massa tertinggi yaitu 30g berpengaruh nyata terhadap perubahan kondisi logam berat Fe dan Mn serta pH air asam tambang. Naldi dan Lisha (2020) dalam penelitiannya menyebutkan, variasi berat atau massa dari adsorben *fly ash* cukup mempengaruhi tingkat penyerapan logam Fe yang terdapat dalam limbah cair, dibuktikan dengan hasil penelitian mencapai tingkat efektivitas 97,98 % pada berat adsorben 2,5 gram yaitu pada variasi massa tertinggi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin berat massa adsorben maka semakin besar persentase dalam penghilangan logam pencemar Fe pada Air Asam Tambang (AAT).

Pengaruh Variasi pH Adsorben POFA Terhadap Parameter pH

Tabel 3
Pengaruh variasi pH terhadap adsorpsi parameter logam Fe

Variasi pH	*% Removal* Adsorben	
	Abu Boiler	Abu Incenerator
	97,39	65,65
pH 5	98,26	70,00
	99,13	70,87
% Removal rata	98,26	68,84
	97,30	95,95
pH 7	98,65	97,30
	98,65	98,65
% Removal rata	98,20	97,30
	92,23	88,35
pH 9	94,17	94,17
	97,09	95,15
% Removal rata	94,50	92,56

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 2
Pengaruh variasi pH terhadap adsorpsi parameter logam Fe

Variasi pH dari sampel limbah Air Asam Tambang (AAT) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 5, 7 dan 9. pH dengan nilai tersebut bersifat basa, netral dan asam. Dari gambar grafik di atas terlihat bahwa dengan variasi pH 5 pada sampel Air Asam Tambang (AAT) terlihat persentase removal dengan adsorben abu boiler sebesar 98,26% dan abu incenerator sebesar 68,84%. Pengunaan variasi pH 7 pada sampel Air Asam Tambang (AAT) terlihat persentase removal dengan adsorben abu boiler sebesar 98,20% dan abu incenerator sebesar 97,30%. Pada pH 9 persentase removal dengan adsorben abu boiler sebesar 94,50% dan abu incenerator sebesar 92,56%. Dari data hasil eksperimen tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa pH terbaik untuk perlakuan adsoprsi 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).

Penelitian Gobel dkk (2018) menunjukkan bahwa adanya penambahan massa fly ash sangat berpengaruh terhadap perubahan pH AAT. Adanya penambahan massa fly ash maka semakin banyak senyawa-senyawa silikat oksida dan memperluas situs-situs aktif dalam proses adsorpsi. Berdasarkan hasil perhitungan efektifitas tersebut menunjukkan bahwa perubahan pH yang paling efektif dalam percobaan ini yaitu pada massa fly ash 12 gram dengan kecepatan pengadukan 45 rpm yaitu rata-rata sebesar 63,11%. Hal ini ditunjukkan pada bahwa *fly ash* memiliki kandungan mineral karbonat seperti aragonite ($CaCO_3$), periclase (MgO) dan thomsonite ($NaCa_2(Al_5Si_5)O_{20}$) yang berfungsi sebagai senyawa alkali pembentuk suasana basa dalam larutan sehingga *fly ash* dapat meningkatkan pH AAT. Penelitian Gemilar (2022), disebutkan bahwa pemberian abu boiler dengan dosis 1,5 g/L dengan waktu pengukuran 5 hari dan 10 hari kedalam Air Asam Tambang menunjukkan adanya perubahan nilai pH dari 3,98 meningkat menjadi 6,13. Perubahan nilai pH ini menunjukkan bahwa penggunaan Abu boiler dapat digunakan sebagai alternatif pengganti dalam menetralkan air asam tambang. Dapat disimpulkan pH terbaik yang dapat digunakan dalam proses ialah pH netral yaitu pH 7 atau berada direntang pH netral.

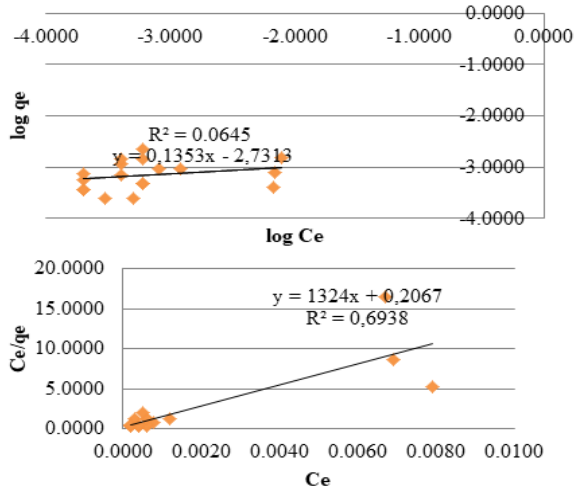
Kemampuan Adsorpsi

Tujuan menggunakan Isoterm 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. Isoterm Langmuir digunakan dengan asumsi bahwa lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer yang ikatan adsorben dengan adsorbatnya cukup kuat karena terbentuknya suatu ikatan kimia sedangkan Isoterm 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 Isoterm 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^2) yang terbesar.

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk menentukan perfoma penyerapan atau model kesetimbangan yang digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis karakterisktik 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^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; dan 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^2) yang dapat dilihat pada Gambar 3 ini.



Sumber: data olahan

Gambar 3
Kurva Isoterm Freundlich dan Kurva Isoterm Langmuir

Berdasarkan Gambar 3 hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa adsorpsi pada parameter Fe menggunakan POFA mengikuti persamaan Isoterm Langmuir. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai regresi R^2 pada Isoterm Langmuir yang lebih tinggi dibandingkan nilai R^2 pada Isoterm 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 Isoterm 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.

Hasil perhitungan rata-rata nilai kesalahan relatif (ARE) Isotherm pada Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan nilai ARE Isotherm Freundlich sebesar 55,687 dan Isotherm Langmuir menujukkan nilai ARE sebesar 47,269. Hasil perhitungan kesalahan relatif tersebut menunjukkan nilai kesalahan yang lebih kecil adalah 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.

Nilai koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh pada adsorpsi air asam tambang dari kedua jenis adsorben lebih mengikuti model isoterm 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 teradsopsi 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 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).

SIMPULAN

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 adsoprsi 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 Isoterm Langmuir yang lebih tinggi dibandingkan nilai R^2 pada Isoterm Freundlich, maka Isotherm Langmuir dianggap lebih baik untuk mengetahui seberapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben.

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 Standarisasi Nasional. 2008. *SNI 6989-59-2008 tentang Pengambilan Sampel Air Limbah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. (2009. *SNI 6989:4:2009 Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

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. 7(1).

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*, 2(1), 1-11

Najmia, H., dkk. 2021. Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Teraktivasi H3PO4 untuk Penurunan Kadar Besi (Fe), Mangan (Mn), dan kondisi pH pada Air Asam Tambang. *Jurnla Enviro-Scienteae*, 17(1), 31

Naldi, F.S., & Lisha, S. Y. 2020. Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* Sebagai Adsorben Logam Fe Pada Limbah Cair *Jurnal Aerasi*.

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.

Rapang, S. T., Devy, S. D., Nugroho, W., Hasan, H., Oktaviani, R., & Trides, Tommy. 2022. Penurunan kadar logam besi (fe) dan mangan (mn) pada air asam tambang menggunakan karbon aktif cangkang telur. *Jurnal Chemurgy*, *6*(2), 58-64.

Ruthven, D.M., 1984, *Principle of Adsorption and Adsorption Processes*. John Wiley & Sons, New York.

Salmariza, Sy, dkk. 2016. Adsorbsi Ion Cr (VI) Menggunakan Adsorben dari Limbah Padat Lumpur Aktif Industri Crumb Rubber. 6(4), 135-145.

Sembodo, Bregas S T., 2006, Model Kinetika Langmuir Untuk Adsorpsi Timbal Pada Abu Sekam Padi, *Ekuilibrium*, 5(1), 28-33

Viena V, Bahagia, Afrizal F. 2020. Produksi Karbon Aktif dari Cangkang Sawit dan Aplikasinya Pada Penyerapan Zat Besi, Mangan dan pH Air Sumur.