

## Pembuatan Karbon Aktif Batubara Subbituminus Sebagai Adsorben Logam Fe (Besi) Pada Limbah Air Lindi Batubara

### Subbituminous Coal of Activated Carbon Production As Fe (Iron) Metal Adsorbent In Coal Leachate Waste

Tri Agustina<sup>1</sup>, Saisa<sup>2,\*</sup>, Muhammad<sup>2</sup>, Zulhaini Sartika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah, Aceh, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah, Aceh, Indonesia

\*corresponding author: [saisa@serambimekkah.ac.id](mailto:saisa@serambimekkah.ac.id)

Tanggal Submisi: 19 Juli 2020, Tanggal Penerimaan: 30 Agustus 2020

#### Abstrak

Karbon aktif dari batubara subbituminous sebagai bahan penyerap untuk mengadsorpsi logam berat Fe yang terkandung pada limbah air lindi PLTU batubara, diharapkan dapat menurunkan kandungan logam berat yang terkandung pada limbah tersebut secara maksimal. Pemanfaatan batubara jenis sub-bituminous sebagai adsorben karbon aktif dalam penyerapan logam berat pada limbah cair air lindi batubara yang diaktivasi secara fisika dan kimia, uji kinerja batubara sub-bituminous sebagai adsorben penyerapan logam berat Fe pada limbah cair air lindi PLTU batubara dengan menggunakan aktivator asam nitrat dan asam sitrat. Asam nitrat dan asam sitrat mampu mengaktivasi batubara subbituminus, hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan kemampuan adsorpsi batubara subbituminus dalam menyerap larutan yang mengandung logam Fe (besi). Hasil penelitian penyerapan kadar ion logam berat Fe (besi) pada limbah air lindi batubara menunjukkan bahwa penyerapan optimal terjadi pada menit ke 120 dengan menggunakan aktivator asam nitrat 0,5 M, menit ke 80 dan 120 dengan menggunakan aktivator asam sitrat 1 M yang mampu menurunkan konsentrasi logam Fe (besi) dari 3,3 ppm menjadi 0,07 ppm dengan penyisihan polutan sebesar 97,87%.

Kata Kunci: Batubara, *sub-bituminous*, air lindi, asam nitrat, asam sitrat, logam besi

#### Abstract

Activated carbon from sub-bituminous coal as a sorbent to adsorb heavy metals Fe contained in coal power plant leachate water waste, is expected to reduce the heavy metal content contained in the waste to the maximum. Utilization of sub-bituminous coal as an activated carbon adsorbent in the absorption of heavy metals in physically and chemically activated coal leachate wastewater, testing the performance of sub-bituminous coal as an adsorbent for the absorption of heavy metals Fe in coal PLTU leachate wastewater using Nitric Acid and Citric Acid activators. Nitric acid and citric acid are able to activate sub-bituminous coal, this is indicated by an increase in the adsorption ability of sub-bituminous coal in absorbing solutions containing Fe (iron) metal. The results of the research on the absorption of heavy metal ion levels Fe (iron) in coal leachate waste water showed that optimal absorption occurred at 120 minutes using 0.5 M nitric acid activator, 80 and 120 minutes using 1 M citric acid activator which was able to reduce the concentration of Fe (iron) metal from 3.3 ppm to 0.07 ppm with a pollutant removal of 97.87%.

Keywords: Coal, subbituminous, leachate, nitric acid, citric acid, ferrous metals



---

## PENDAHULUAN

Proses pembangkitan listrik menggunakan batubara secara terus menerus akan menghasilkan pencemar berupa air lindi (leachate) sebagai hasil infiltrasi air hujan yang masuk ke dalam timbunan batubara dan air sisa penyiraman batubara di stockpile. Air lindi batubara merupakan salah satu jenis limbah cair yang perlu diperhatikan karena limbah tersebut biasanya mengandung logam berat yang apabila melebihi baku mutunya dan tidak dilakukan pengolahan secara efektif dapat membahayakan kehidupan manusia dan mencemari lingkungan, seperti logam Besi (Fe). Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 08 tahun 2009, baku mutu logam besi yang terkandung dalam limbah cair yang bersumber dari Coal Stockpile adalah 5 mg/L. Apabila kadar logam berat itu melebihi baku mutu, maka air lindi harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Selain mempengaruhi ekosistem yang ada, kandungan logam Besi (Fe) yang tinggi dalam badan air juga dapat menyebabkan pengkaratan terhadap kapal, pondasi jembatan dan bangunan sekitarnya.

Batubara subbituminous memiliki nilai kalori yang rendah (4611–5833 kcal/kg) dan umumnya mengandung sekitar 35–45% karbon murni. Ini sangat mempengaruhi pasar terhadap penjualan batubara sub-bituminous. Oleh karena itu, untuk meningkatkan harga jual dari batubara sub-bituminous dilakukan konversi ke dalam bentuk lain seperti pembuatan karbon aktif sebagai bahan penyerap kandungan asam atau ion logam berat yang terdapat dari air limbah.

Pembuatan karbon aktif dari batubara sebagai bahan penyerap kadar ion logam berat pada limbah cair laboratorium menggunakan aktivator HCl telah dilakukan oleh Resky (2015), dalam penelitiannya menunjukkan bahwa ukuran partikel dan konsentrasi aktivator mempengaruhi daya serap adsorben batubara. Pemanfaatan batubara jenis sub-bituminous sebagai adsorben karbon aktif dalam penyerapan logam berat pada limbah cair air lindi batubara yang diaktivasi secara fisika dan kimia masih sangat minim dilakukan dalam berbagai penelitian, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan uji kinerja batubara sub-bituminous sebagai adsorben penyerapan logam berat Fe pada limbah cair air lindi PLTU batubara dengan menggunakan aktivator asam nitrat dan asam sitrat.

## METODE PENELITIAN

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode Incipient Wetness Impregnation yang terdiri dari 2 variabel yaitu:

- 1) Variabel tetap

- a) Berat karbon aktif subbituminous 2 gram
  - b) Ukuran ayakan 100 mesh
  - c) Waktu Aktivasi 5 jam
  - d) Volume sampel 200 mL
- 2) Variabel berubah
- a) Konsentrasi aktivator (0,5 M; 1,0 M dan 1,5 M)
  - b) Konsentrasi larutan Baku Fe ( 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm)
  - c) Waktu adsorpsi (60 menit, 80 menit dan 100 menit)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pembuatan karbon aktif dari batubara subbituminus dilakukan dengan aktivator asam nitrat dan asam sitrat dengan variasi konsentrasi 0,5 M dan 1 M, serta variasi waktu adsorpsi selama 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit dan 120 menit. Variabel yang dipilih dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi aktivator yang efisien dan waktu adsorpsi yang optimum. Menurut Sciban dkk 2015, asam organik mampu meningkatkan proses pembentukan lokasi adsorpsi pada permukaan adsorben, dengan kata lain asam sitrat ini dapat menambah luas permukaan karbon aktif itu sendiri. Asam Nitrat merupakan larutan asam yg lazim digunakan untuk melarutkan senyawa logam berat salah satunya Fe. Sehingga dengan menggunakan asam nitrat dan asam sitrat yang pada dasarnya memang dapat melarutkan logam berat, diharapkan karbon aktif yang dihasilkan pun lebih efektif dalam mereduksi logam berat Fe.

Air lindi batubara mengandung logam berat yang berbahaya bagi lingkungan. Apabila masuk ke dalam badan air akan mencemari ekosistem yang ada, apabila kontak dengan tanah akan mencemari dan membahayakan mahluk hidup disekitarnya. Hasil analisa konsentrasi logam berat Fe (besi) dalam limbah air lindi batubara sebelum diolah adalah sebesar 3,3 ppm, dimana baku mutu yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air adalah sebesar 5 ppm (Permen LH Nomor 8 Tahun 2019). Setelah limbah air lindi batubara dikontakkan dengan adsorben (karbon aktif) sebanyak 2 gram dengan waktu kontak bervariasi, maka diperoleh hasil bahwa konsentrasi logam Fe (besi) berfluktuasi. Daya serap logam berat di uji dengan menggunakan alat spektrofotometer serapan atom DR 2800. Konsentrasi akhir logam Fe (besi) dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil Penyerapan Logam Fe (Besi) Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom.

Larutan Sampel	Aktivator	Waktu Adsorpsi	Konsentrasi Aktivator	Konsentrasi Fe setelah Adsorpsi (ppm)
Limbah Air Lindi Batubara (3,3 ppm)	Asam Nitrat	20	0,5	0,19
			1	0,18
		40	0,5	0,21
			1	0,14
		60	0,5	0,18
			1	0,12
		80	0,5	0,11
			1	0,10
		100	0,5	0,17
			1	0,08
		120	0,5	0,19
			1	0,07
	Asam Sitrat	20	0,5	0,1
			1	0,17
		40	0,5	0,09
			1	0,15
		60	0,5	0,08
			1	0,14
		80	0,5	0,07
			1	0,08
		100	0,5	0,10
			1	0,14
		120	0,5	0,07
			1	0,16
Tanpa Aktivator	20	0	0,42	
	40	0	0,36	
	60	0	0,29	
	80	0	0,22	
	100	0	0,24	
	120	0	0,27	

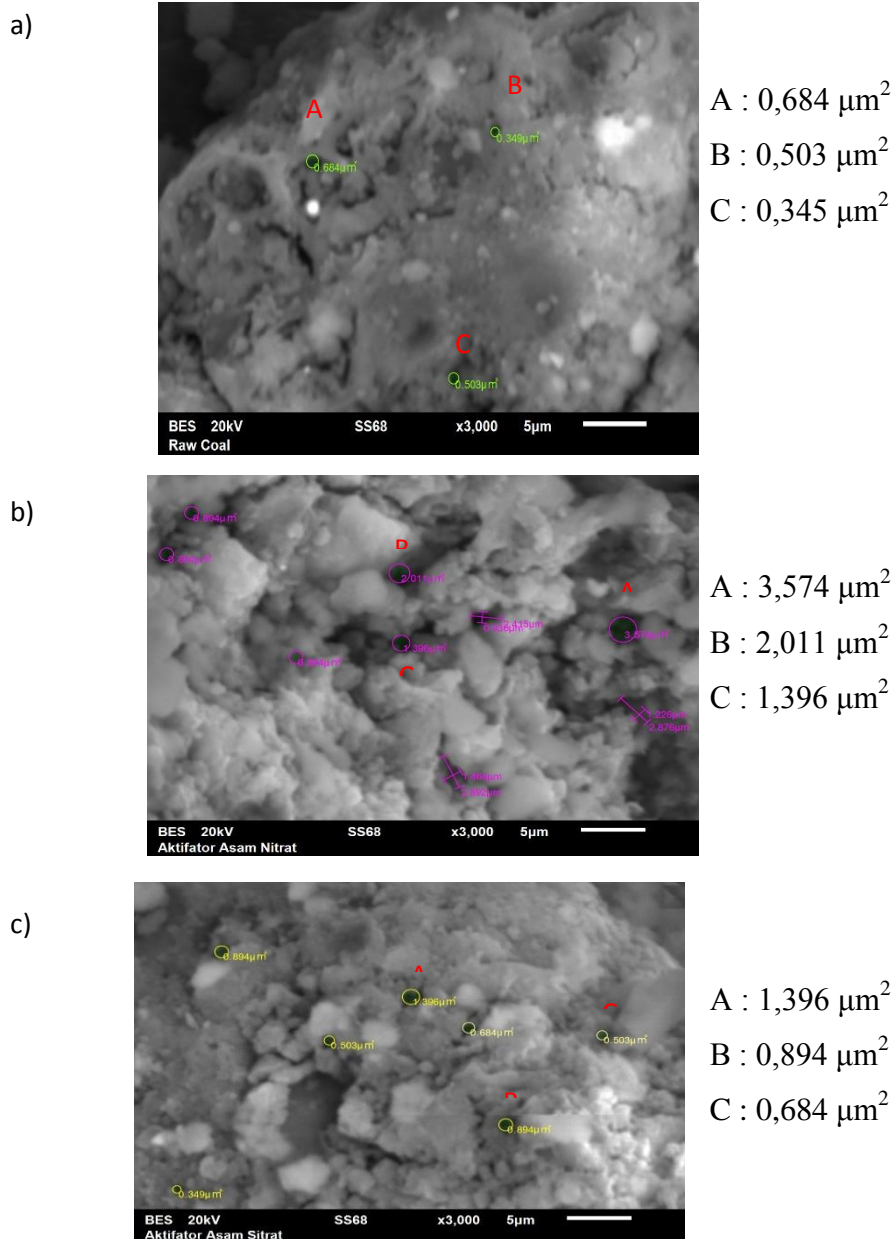
### Karakterisasi Karbon Aktif Batubara

Batubara mempunyai mutu beragam yang bergantung pada parameter proksimat, ultimat dan nilai kalorinya sehingga kualitas karbon aktif yang dihasilkan juga akan berbeda. Selain itu, jenis aktivator yang digunakan juga mempengaruhi efektifitas penyerapan karbon aktif. Sehingga perlu dilakukan uji karakterisasi untuk mengetahui kualitas karbon aktif yang dihasilkan.

Dari Gambar 4 menunjukkan daya serap logam Fe (besi) akhir batubara yang telah di aktivasi Asam Nitrat dengan variasi konsentrasi 0,5 M dan 1 M, dimana adsorpsi maksimum untuk konsentrasi Asam Nitrat 1 M terjadi pada waktu adsorpsi 120 menit yang mampu menurunkan konsentrasi logam Fe (besi) dari 3,3 ppm menjadi 0,07 ppm dan penyisihan polutan sebesar 97,87%. Selain itu, proses adsorpsi dengan menggunakan aktivator Asam Sitrat 1 M juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi maka semakin banyak logam Fe (besi) yang akan terserap. Pada Gambar 4 juga dapat dilihat proses adsorpsi menggunakan karbon aktif teraktivasi Asam Nitrat 0,5 M dimana daya serap konsentrasi akhir logam Fe (Besi) cenderung berfluktuasi. Adsorpsi maksimum terjadi pada menit ke 80 dimana kadar logam Fe (besi) akhir yang dihasilkan sebesar 0,11 ppm sehingga menurunkan kadar polutan sebesar 96,67 %.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa batubara *sub-bituminous* yang belum di aktivasi memiliki pori-pori sedikit dengan luas permukaan yang kecil yaitu berkisar 0,3 -0,6  $\mu\text{m}^2$  dan permukaan pori-pori yang kasar serta tidak teratur. Menurut Aminian dan Rodvelt 2014, karakteristik unik batubara ditentukan karena sifatnya yang heterogen dan merupakan media berpori yang anisotropik (berdeda, tidak teratur). Sedangkan batubara yang telah

diaktivasi dengan Asam Sitrat dan Asam Nitrat memiliki pori yang banyak dengan luas permukaan semakin besar yaitu berkisar  $0,5 - 3 \mu\text{m}^2$ .

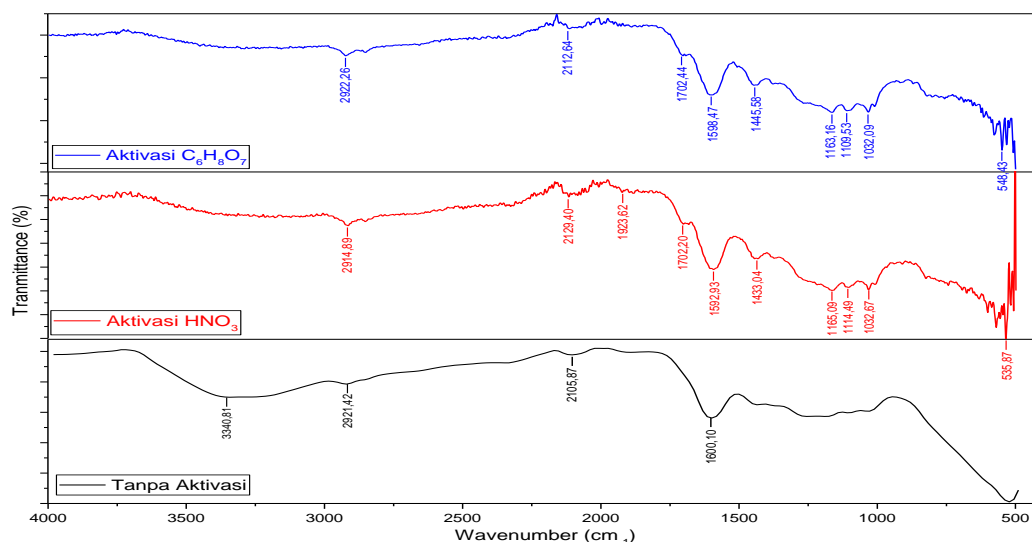


Gambar 1 Analisa Scanning Electron Microscopy (SEM), (a) batubara subbituminus yang belum di aktivasi, (b) sampel batubara yang diaktivasi Asam Nitrat, (c) sampel batubara yang diaktivasi Asam Sitrat

Hal ini menunjukkan bahwa aktivator yang digunakan mampu mengubah morfologi batubara subbituminus sehingga menambah luas permukaan karbon aktif. Pembentukan dan pembesaran pori disebabkan oleh penguapan komponen selulosa yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang. Pengurangan senyawa hidrokarbon menghasilkan permukaan karbon aktif terlihat semakin jelas. Struktur pori-pori yang terbentuk berasal dari penguapan dan

pelarutan senyawa-senyawa non-karbon yang terdapat di dalam bahan baku yang disebabkan oleh proses pirolisis, yang bisa meninggalkan beberapa ruang kosong yang membentuk pori-pori (Mentari, 2018).

Selanjutnya dilakukan uji *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam karbon aktif berdasarkan puncak serapan yang dihasilkan. Gambar berikut menunjukkan perbandingan hasil analisa gugus fungsi karbon aktif dari batubara subbituminous sebelum dan sesudah diaktivasi.

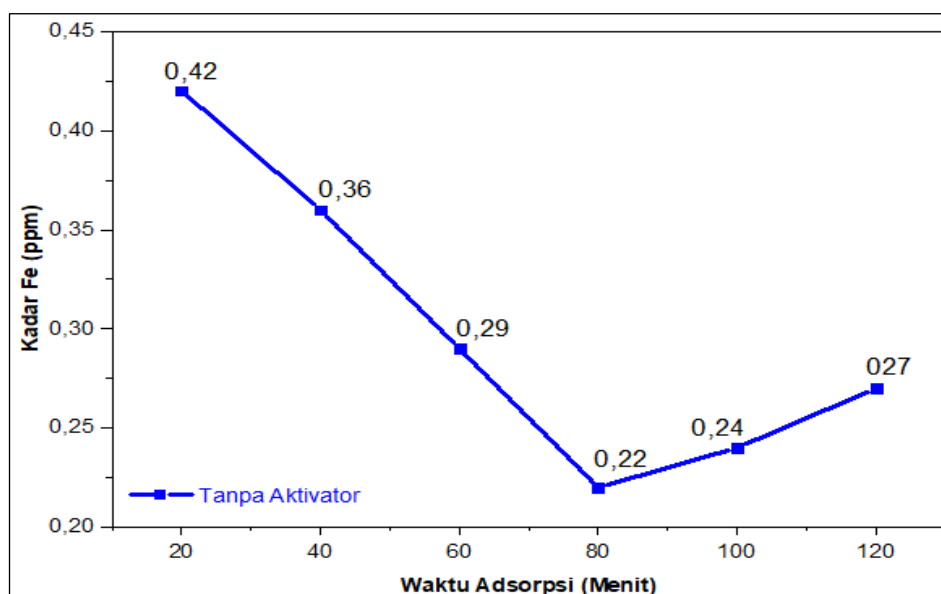


Gambar 2 Spektra IR Karbon Aktif Batubara Subbituminus

Gugus fungsi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai penciri dari karbon aktif tersebut. Dari Gambar 2. dapat dilihat bahwa pita serapan karbon aktif batubara subbituminus sebelum dan setelah diaktivasi mengalami perubahan, hal ini dikarenakan activating agent yang dapat menyebabkan terjadinya pergeseran berdasarkan lingkungan kimianya. Pada batubara subbituminus yang belum diaktivasi, terlihat adanya serapan melebar pada bilangan gelombang  $3340,81\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya serapan O-H karboksilat. Adanya serapan lemah di daerah  $2921,42\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya tipikal alkana (C-H) dan pada daerah  $2105,87\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan serapan fenol. Serapan kuat dan tajam terlihat pada bilangan gelombang  $1600,10\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus C=C aromatik. Selain itu juga terlihat serapan di daerah bilangan gelombang yang merupakan tipikal C-Br.

### Analisa Daya Serap Karbon Aktif dari Batubara Subbituminus Terhadap Konsentrasi Akhir Logam Fe (Besi)

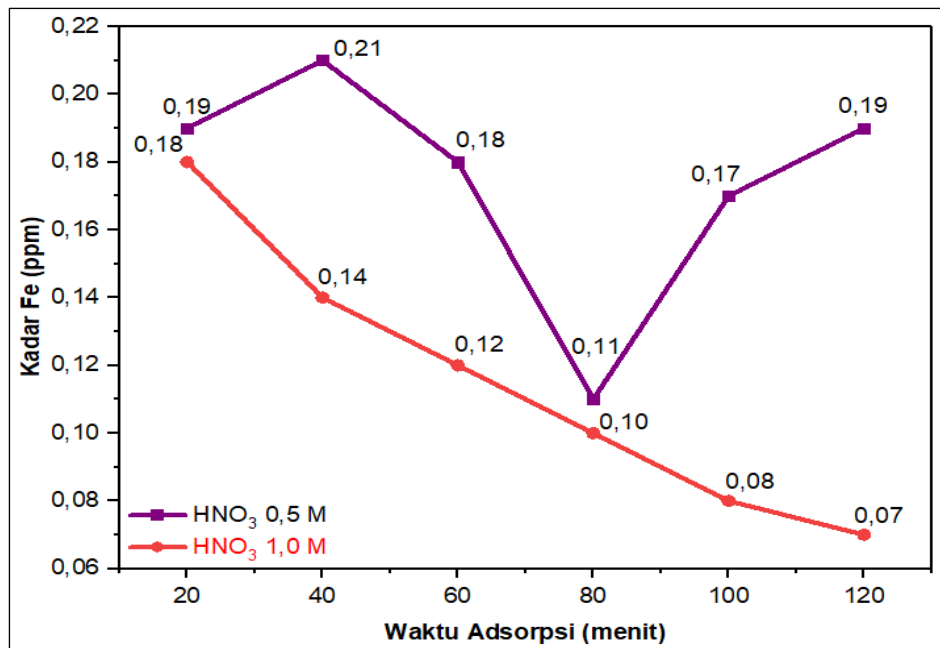
Dari Tabel 1. tentang konsentrasi logam Fe (besi) pada limbah air lindi batubara dapat dilihat bahwa berdasarkan variasi konsentrasi dan waktu adsorpsi, maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 3 dibawah ini.



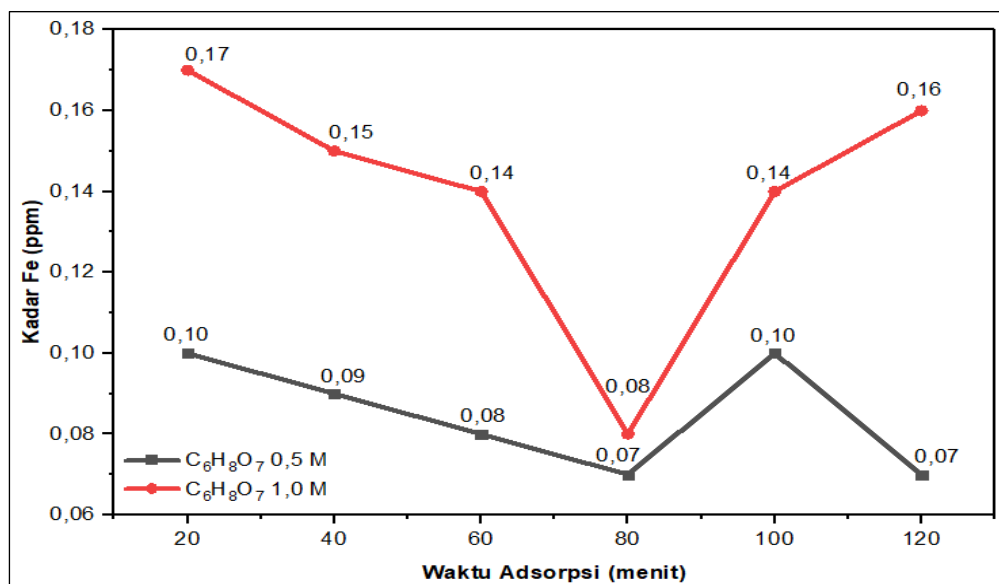
Gambar 3 Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Daya Adsorpsi Batubara Subbituminous Pada Penentuan Kadar Fe Dalam Limbah Air Lindi Batubara

Waktu adsorpsi optimum ditentukan dengan mengetahui waktu adsorpsi yang menghasilkan penyerapan logam Fe (Besi) oleh adsorben (batubara subbituminus teraktivasi) paling tinggi. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa *raw coal* tanpa aktivasi juga mampu menurunkan kadar logam Fe (besi). Adsorpsi maksimum dengan adsorben *raw coal* terjadi di menit ke 80 dengan hasil analisa kadar Fe (besi) yang didapatkan sebesar 0,22 ppm. Namun, di menit 100 dan 120 terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini dapat disebabkan karena pori-pori pada permukaan batubara telah tertutupi oleh ion logam Fe sehingga mengurangi kemampuan adsorben dalam proses penyerapan logam Fe (besi).

Dari Gambar 4 menunjukkan daya serap logam Fe (besi) akhir batubara yang telah di aktivasi asam nitrat dengan variasi konsentrasi 0,5 M dan 1 M, dimana adsorpsi maksimum untuk konsentrasi asam nitrat 1 M terjadi pada waktu adsorpsi 120 menit yang mampu menurunkan konsentrasi logam Fe (besi) dari 3,3 ppm menjadi 0,07 ppm dan penyisihan polutan sebesar 97,87%. Selain itu, proses adsorpsi dengan menggunakan aktivator Asam Sitrat 1 M juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi maka semakin banyak logam Fe (besi) yang akan terserap. Pada Gambar 4 juga dapat dilihat proses adsorpsi menggunakan karbon aktif teraktivasi asam nitrat 0,5 M dimana daya serap konsentrasi akhir logam Fe (Besi) cenderung berfluktuasi. Adsorpsi maksimum terjadi pada menit ke 80 dimana kadar logam Fe (besi) akhir yang dihasilkan sebesar 0,11 ppm sehingga menurunkan kadar polutan sebesar 96,67 %.



Gambar 4 Pengaruh Waktu Adsorpsi Karbon Aktif (Batubara *Subbituminous*) Terhadap Penyerapan Logam Fe Dalam Limbah Air Lindi yang Diaktivasi dengan Asam Nitrat (HNO<sub>3</sub>)



Gambar 5 Pengaruh Waktu Adsorpsi Karbon Aktif (Batubara *Subbituminous*) Terhadap Penyerapan Logam Fe Dalam Limbah Air Lindi yang Diaktivasi dengan Asam Sitrat (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>)

Dari Gambar 5 menunjukkan daya serap logam Fe (besi) akhir batubara yang telah di aktivasi Asam Sitrat dengan variasi konsentrasi 0,5 M dan 1 M, dimana dari kedua variasi konsentrasi ini setelah dilakukan proses adsorpsi terhadap limbah air lindi batubara menghasilkan nilai kadar Fe (besi) akhir yang berfluktuasi. Proses adsorpsi optimum menggunakan karbon aktif teraktivasi Asam Sitrat 1 M terjadi pada menit ke 80 dengan

konsentrasi logam Fe (besi) akhir sebesar 0,08 ppm dan penyisihan polutan sebesar 97,58%, dan kemudian mengalami penurunan daya serap di menit selanjutnya. Pada Gambar 5 juga dapat dilihat proses adsorpsi menggunakan karbon aktif teraktivasi Asam Sitrat 0,5 M, dimana adsorpsi optimum terjadi pada menit ke 80 dan 120 dimana kadar logam Fe (besi) akhir yang dihasilkan di kedua variasi waktu tersebut adalah sebesar 0,07 ppm sehingga menurunkan kadar polutan sebesar 97,87 % kemudian mengalami penurunan daya serap di menit ke 100. Penurunan kemampuan daya serap adsorben kemungkinan disebabkan oleh ion logam Fe yang sudah menutupi pori-pori karbon aktif sehingga mengurangi kemampuan adsorben dalam proses penyerapan logam Fe (besi). Berdasarkan uji morfologi SEM, karbon aktif batubara subbituminus yang diaktivasi dengan asam nitrat memiliki pori-pori yang lebih besar dibandingkan dengan batubara yang diaktivasi dengan asam sitrat. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan logam Fe (besi) dengan karbon aktif teraktivasi asam nitrat seharusnya lebih optimal dengan waktu jenuh lebih lama.

## **KESIMPULAN**

Penggunaan karbon aktif batubara subbituminus yang diaktivasi dengan Asam Nitrat memiliki pori-pori yang lebih besar dibandingkan dengan batubara yang diaktivasi dengan Asam Sitrat. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan logam Fe (besi) dengan karbon aktif teraktivasi Asam Nitrat seharusnya lebih optimal dengan waktu jenuh lebih lama.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Billah, M. (2010). Peningkatan Nilai Kalori Batubara Peringkat Rendah dengan Menggunakan Minyak Tanah dan Minyak Residu. Surabaya: UPN Press.
- Desyana, & Ghafarunnisa, D. d. (2017). Pemanfaatan Batubara Menjadi Karbon Aktif dengan Proses Karbonisasi dan Aktivasi Menggunakan Reagen Asam Fosfat ( $H_3PO_4$ ) dan Ammonium Bikarbonat ( $NH_4HCO_3$ ). Prosiding Seminar Nasional XII Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta, 41.
- Esthikiusdarini, d. (2017). Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminous dengan Aktivasi Tunggal  $H_3PO_4$ , Kombinasi  $H_3PO_4-NH_4HCO_3$  dan Termal. Reaktor 17 (2) , 74-80.
- JE.F , R. (1982). Martidale The Extra Pharma Copoeia. London, The Pharmaceutical Press Ed 28, 234,257.
- Kipling, J. (1965). Adsorption for Solution of Non Electrolytes. London,Accademic Press.
- Kristianto, H. (2017). Sintetis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia  $ZnCl_2$ . Jurnal Integrasi Proses Vol.6 No 3, 104-111.

- Polli, F. F. (2017). Pengaruh Suhu dan Lama Aktifasi Terhadap Mutu Arang Aktif dari Kayu Kelapa . Balai Riset dan Standardisasi Industri Hasil Perkebuanann Menado.
- Resky. (2015). Pembuatan Karbon Aktif Dari Batubara Subbituminus Sssebagai Bahan Penyerap Kadar Ion Logam Berat Pada Limbah Cair Laboratorium Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, 54.
- Sholehah, A. (2008, May). Diambil kembali dari Amaliasholehah. files. wordpress.com /2008/05/kimia.permukaan1.doc
- Suci, F. S. (2012). Pemanfaatan Abu Layang batubara (fly Ash) Teraktivasi Sebagai Adsorben Ion Logam PB2+. ADLN Perpustakaan Universitas Airlangga, 76.