

# PEMANFAATAN BATUBARA SUBBITUMINUS MENJADI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Fe (BESI) PADA LIMBAH AIR LINDI STOCKPILE PLTU BATUBARA

## UTILIZATION OF SUBBITUMINAL COAL INTO ACTIVE CARBON AS AN ADSORBENT OF Fe (IRON) METAL IN COAL POWER PLTU STOCKPILE LEACHATE WASTE

Legiso<sup>1)</sup>, Ummi Kalsum<sup>2)</sup>, Abie Aprianata<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup> Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia

Corresponding Author E-mail: [ponimanlegiso@gmail.com](mailto:ponimanlegiso@gmail.com), [ummikalsum1207@gmail.com](mailto:ummikalsum1207@gmail.com) dan

[aprianataabiepln@gmail.com](mailto:aprianataabiepln@gmail.com)

**Abstract:** Activated carbon is a material composed of carbon compounds that have pores with a large surface area. This research has been carried out by utilizing activated sub-bituminous coal as an adsorbent of Fe (iron). The purpose of this study was to determine whether subbituminous coal activated with citric acid ( $C_6H_8O_7$ ) can produce activated carbon to absorb iron (Fe) from the coal stockpile leachate. Variable concentrations of the solution were 0,5 M and 1 M, each of which was 200 ml of leachate with variations in adsorption time of 60 minutes, 80 minutes, 100 minutes and 120 minutes. The results showed that sub-bituminous coal can be activated with 0,5 M  $C_6H_8O_7$  so as to reduce the concentration of Fe (iron) from 0,7573 ppm to 0,2849 ppm with a pollutant removal of 62,38%. For the activation of  $C_6H_8O_7$  1 M was able to reduce the concentration of Fe (iron) from 0,7573 ppm to 0,2254 ppm with a pollutant removal of 70,24%.

Keywords: Adsorbent, Sub-bituminus, Citric Acid, Iron (Fe).

**Abstrak:** Karbon aktif adalah suatu materi yang tersusun dari senyawa karbon yang memiliki pori dengan luas permukaan yang besar. Penelitian ini telah dilakukan dengan memanfaatkan batubara berjenis sub-bituminus teraktivasi sebagai adsorben logam Fe (besi). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah batubara subbituminous yang diaktivasi dengan Asam Sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) dapat menghasilkan karbon aktif untuk menyerap kandungan logam besi (Fe) dari dalam air lindi stockpile batubara. Variabel konsentrasi larutan adalah 0,5 M dan 1 M, air lindi masing-masing sebanyak 200 ml dengan variasi waktu adsorpsi 60 menit, 80 menit, 100 menit dan 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batubara subbituminus dapat diaktivasi dengan  $C_6H_8O_7$  0,5 M sehingga mampu menurunkan konsentrasi logam Fe (besi) dari 0,7573 ppm menjadi 0,2849 ppm dengan penyisihan polutan sebesar 62,38%. Untuk aktivasi  $C_6H_8O_7$  1 M mampu menurunkan konsentrasi logam Fe (besi) dari 0,7573 ppm menjadi 0,2254 ppm dengan penyisihan polutan sebesar 70,24%.

Kata kunci: Adsorben, Sub-bituminus, Asam Sitrat, Logam Besi (Fe).

## 1. PENDAHULUAN

Pada operasi pembangkit listrik, konsumsi bahan bakar batubara yang dipergunakan cukup besar dengan kualitas yang sesuai dengan kebutuhan unit pembangkit. Untuk menghantarkan batubara yang akan dipakai tersebut menggunakan jaringan conveyor. Namun, ceceran batubara kerap terjadi karena ada batubara yang jatuh keluar dari conveyor.

Sejatinya batubara yang tercecer ini masih memiliki potensi untuk diolah kembali menjadi karbon aktif untuk menjadi adsorben dalam penjerapan logam besi (Fe) di air limbah lindi PLTU.

## 2. TEORI DASAR

### 2.1 Batubara Sub-bituminus

Secara umum batubara dapat dikategorikan berdasarkan nilai kalori, kandungan air, dan kandungan karbon (Billah, n.d.-b). Berdasarkan analisis proksimat dan nilai kalori, peringkat suatu tipe batubara digolongkan melalui sistem klasifikasi batubara yaitu peringkat rendah yang terdiri dari batubara jenis lignite dan sub-bituminous sampai peringkat tinggi dari jenis bituminous dan antrasite sesuai dengan kenaikan kadar karbon dan nilai kalori.

### 2.2 Limbah Air Lindi Batubara

Air lindi batubara adalah salah satu limbah cair dari proses pembangkitan listrik menggunakan batubara yang merupakan hasil infiltrasi air hujan yang masuk ke dalam timbunan batubara dan air sisa penyiraman batubara di *stockpile*.

### 2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon padat yang memiliki luas permukaan yang cukup tinggi berkisar antara 100 sampai dengan 2000 m<sup>2</sup>/g atau bisa lebih dari itu. Hal ini dikarenakan zat ini memiliki pori – pori yang sangat kompleks yang berkisar dari ukuran mikro dibawah 20 Å (Angstrom), ukuran meso antara 20 sampai 50 Å dan ukuran makro yang melebihi 500 Å (pembagian ukuran pori berdasarkan IUPAC). Sehingga luas permukaan disini lebih dimaksudkan luas permukaan internal yang diakibatkan dari adanya pori-pori yang berukuran sangat kecil. Karena memiliki luas permukaan yang sangat besar, maka karbon aktif sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan luas kontak yang besar seperti pada bidang adsorpsi (penjerapan), dan pada bidang reaksi dan katalisis.

Proses pembuatan arang aktif dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Pengaktifan secara fisika yaitu dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku pada suhu yang cukup tinggi (600 – 900 °C) pada kondisi miskin udara (oksigen), kemudian pada suhu tinggi tersebut dialirkan media pengaktif seperti uap air dan CO<sub>2</sub>.
2. pengaktifan kimiawi yaitu bahan baku sebelum dipanaskan dicampur dengan bahan kimia tertentu seperti KOH, NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan lain sebagainya. Biasanya pengaktifan secara kimiawi tidak membutuhkan suhu tinggi seperti pada pengaktifan secara fisis, namun diperlukan tahap pencucian setelah diaktifkan untuk membuang sisa-sisa bahan kimia yang dipakai.

### 2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa penjerapan atau pengayaan (enrichment) bahan dari suatu

komponen campuran gas/cair di daerah antar fasa dimana bahan yang akan dipisahkan ditarik oleh permukaan zat padat. Bahan penyerap berupa zat padat, penyerap hanya dipermukaan zat penyerap. Pada peristiwa adsorpsi, komponen akan berada di daerah antar muka, tetapi tidak masuk ke dalam fase. Komponen yang terserap disebut adsorbat (*adsorbate*), sedangkan daerah tempat terjadinya penjerapan disebut adsorben (*substrate*).

### 2.5 Logam Besi (Fe)

Besi dan unsur keempat banyak dibumi dan merupakan salah satu logam yang penting dalam dunia industri. Besi murni bersifat agak lunak dan kenyal. Karena sifat ini dalam industri, besi selalu dipadukan dengan baja.

### 2.6 Asam Sitrat

Asam sitrat merupakan asam organik lemah yang bisa ditemukan di daun dan buah tumbuhan genus *citrus* (jeruk-jerukan). Senyawa ini berguna dalam industri makanan, farmasi dan tambahan dalam makanan ternak. Asam sitrat terdapat pada berbagai jenis buah dan sayuran, namun ditemukan pada konsentrasi tinggi hingga dapat mencapai bobot 8% kering. Hal ini ditemukan pada buah jeruk dan limau misalnya jeruk nipis dan jeruk purut.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Uji karakteristik karbon aktif dilakukan di Laboratorium Politeknik Akamigas. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Pengujian *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) dan Pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometry* / AAS) dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang. Waktu penelitian dari bulan Desember 2021 sampai Juli 2022.

### 3.2 Bahan dan Alat Penelitian

#### 1. Bahan

- Batubara jenis *Sub-bituminous* yang berasal ceceran bahan bakar PLTU Bukit Asam di daerah Tanjung Enim) dengan kandungan 35 – 45% karbon murni,
- Asam Sitrat,  $C_6H_8O_7$ , (*wako pure chemical*; 99,9%, dan
- Aquadest.

#### 2. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *furnace*, *oven dryer*, desikator (*pyrex*), *ball mill*, *shieve shaker*, timbangan digital, erlenmayer 250 ml (*pyrex*), erlenmayer 1.000 ml (*pyrex*), gelas ukur 100 ml (*pyrex*), *stirrer*, labu ukur 1.000 ml (*pyrex*), pipet tetes, pH meter, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), *Fourier Transformed Infrared* (FTIR), dan alat-alat lainnya.

### 3.3 Proses Preparasi Batubara Subbituminus

Sebanyak 2.000 gram sampel batubara sub bituminous diambil dari ceceran batubara di *Coal Handling Facility* PLTU Bukit Asam. Kemudian batubara tersebut dicuci dengan aquadest lalu dikeringkan dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Batu bara yang sudah kering ditimbang lalu dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Batubara siap untuk digunakan pada proses selanjutnya.

### 3.4 Aktivasi Batubara

Sebanyak masing-masing 100 gram batubara hasil preparasi dimasukkan ke dalam *beaker glass* berukuran 500 ml. Lalu ditambahkan larutan Asam Sitrat 1 M dan 0,5 M dimasing-masing *beaker glass*. Campuran diaduk dengan pengaduk magnet selama 5 jam dengan kecepatan pengaduk 120 rpm. Campuran didiamkan selama 30 jam sehingga diperoleh batubara yang sudah diaktivasi. Batubara tadi dibilas dengan *aquadest* hingga pH netral. Kemuadian dikeringkan kembali menggunakan *oven* dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Konsentrasi awal logam Besi (Fe) pada air limbah Lindi Stockpile Batubara = 0,7573 ppm. Analisa percobaan penelitian ini diantaranya:

- Uji Karakteristik untuk mengetahui apakah karbon aktif yang dihasilkan memenuhi Standar,
- Uji menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), untuk mengetahui morfologi karbon aktif pada skala mikro,
- Uji menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi dan mengidentifikasi senyawa yang terdapat dalam karbon aktif tanpa merusak sampel
- Uji *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) yang berfungsi untuk menganalisa kandungan logam termasuk analisa kandungan logam Fe sebelum dan setelah proses adsorpsi

Percobaan dilakukan dalam skala laboratorium dengan melakukan variasi adsorbs pada waktu 60 menit, 80 menit, 100 menit dan 120 menit.

### 4.2 Uji Karakteristik

Hasil uji karakteristik karbon aktif dapat dilihat seperti tabel 4.1.

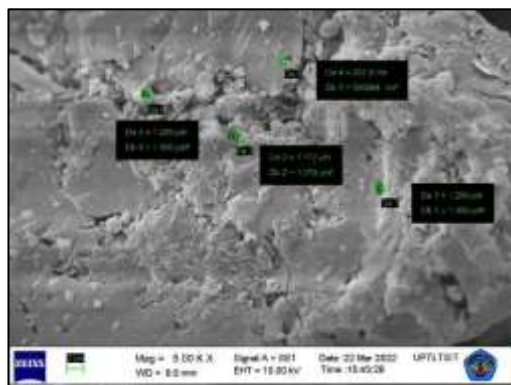
**Tabel 4.1** Hasil Uji Karakteristik Karbon Aktif berdasarkan Standar Kualitas Karbon Aktif (SNI 1995 dan SII No. 2058-79)

| Uraian                                      | Persyaratan Kualitas |           | Jenis Karbon Aktif |                              |                                |
|---------------------------------------------|----------------------|-----------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                                             | SNI (%)              | SII (%)   | Non Aktivasi (%)   | Aktivasi 1 M Asam Sitrat (%) | Aktivasi 0,5 M Asam Sitrat (%) |
| Kadar Air ( <i>Moisture</i> )               | Maks. 15             | Maks. 10  | 12,9               | 7,8                          | 7                              |
| Kadar Zat Mengua ( <i>Volatile Matter</i> ) | Maks. 25             | Maks. 15  | 37                 | 38                           | 39,6                           |
| Kadar Abu ( <i>Ash Content</i> )            | Maks. 10             | Maks. 2,5 | 7                  | 5                            | 5                              |
| Kadar Karbon Tetap ( <i>Fixed Carbon</i> )  | Min. 65              | -         | 43,1               | 49,2                         | 48,4                           |

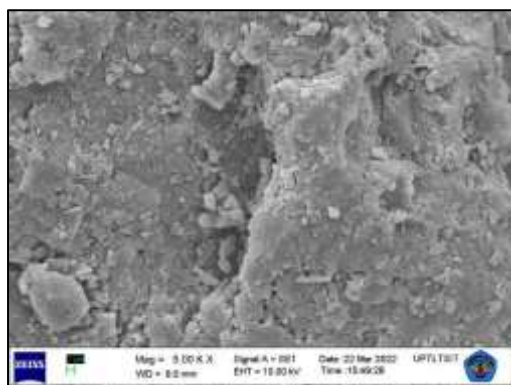
Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat dua karakteristik yang tidak memenuhi standar SNI 1995 dan SII No. 2058-79, yaitu nilai *volatile matter* dan *fixed*

carbon. Hal ini dikarenakan persentase *volatile matter* yang masih cukup tinggi, sehingga menurunkan persentase dari *fixed carbon*.

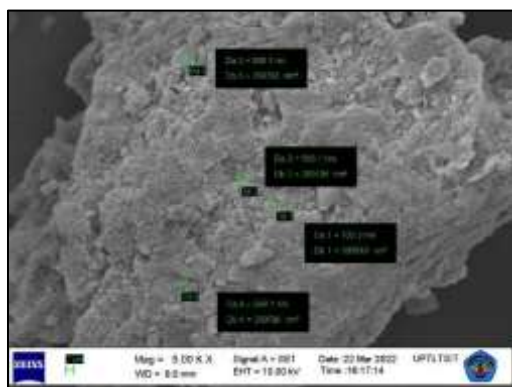
#### 4.3 Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)



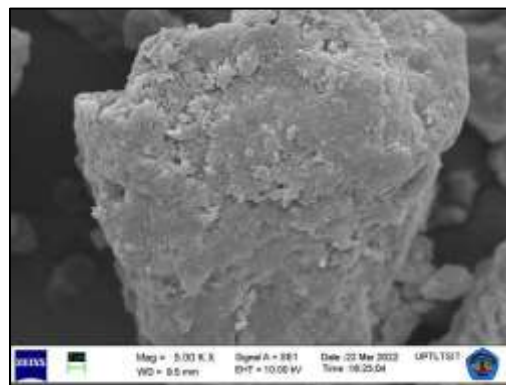
**Gambar 4.1** Sampel Non Aktivasi Sebelum Proses Adsorbsi



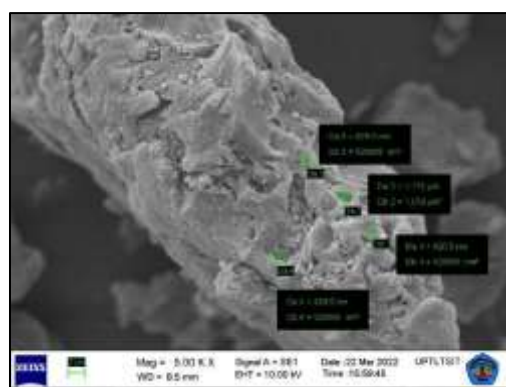
**Gambar 4.2** Sampel Non Aktivasi Setelah Proses Adsorbsi



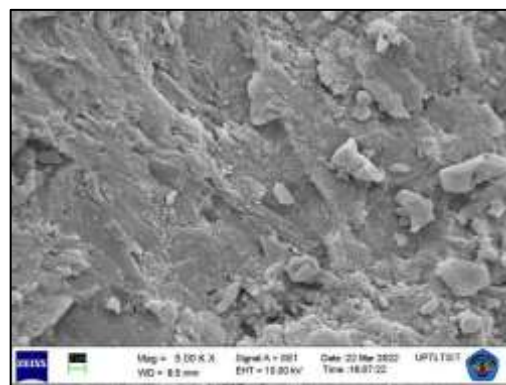
**Gambar 4.3** Sampel Aktivasi 0,5 M Sebelum Proses Adsorbsi



**Gambar 4.4** Sampel Aktivasi 0,5 M Setelah Proses Adsorbsi



**Gambar 4.5** Sampel Aktivasi 1 M Sebelum Proses Adsorbsi

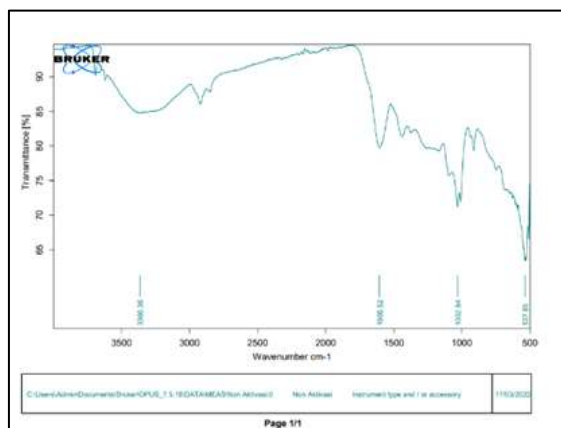


**Gambar 4.6** Sampel Aktivasi 1 M Setelah Proses Adsorbsi

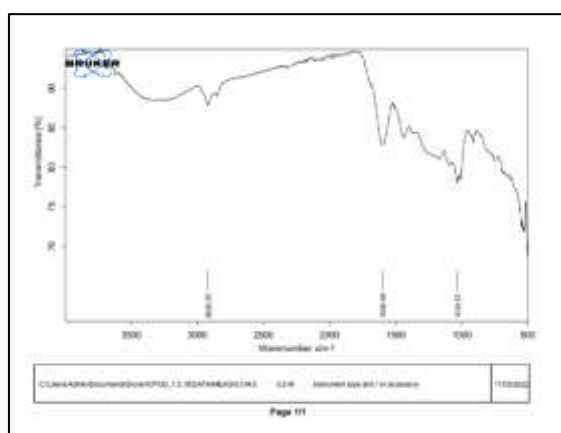
#### 4.4 Uji *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)*

Hasil uji *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)* dapat dilihat seperti pada gambar 4.7, 4.8, 4.9., 4.10, 4.11, dan 4.12 berikut ini:

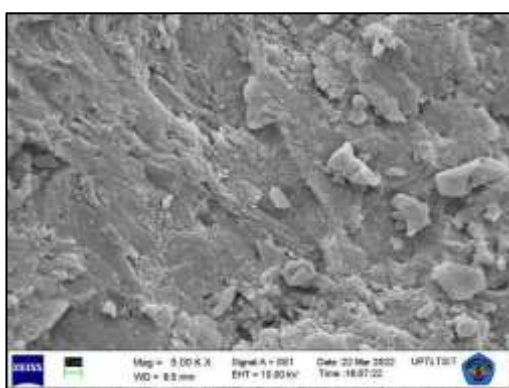




**Gambar 4.7** Spektrum Sampel Non Aktivasi Sebelum Proses Adsorpsi

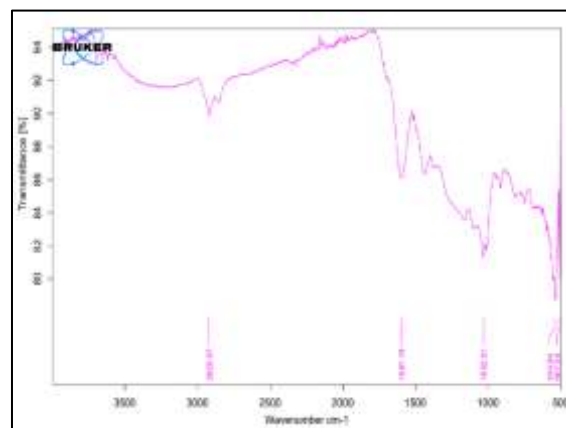


**Gambar 4.8** Spektrum Sampel Non Aktivasi Setelah Proses Adsorpsi



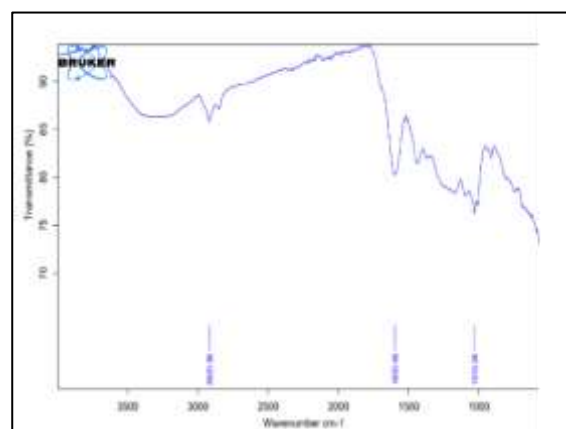
**Gambar 4.9** Spektrum Sampel 0,5 M Sebelum Proses Adsorpsi

Pada bilangan gelombang  $1.600,48 \text{ cm}^{-1}$  terdapat serapan  $\text{C}=\text{C}$  (aromatik) yang menandakan ciri khas karbon aktif (Rajak, V.K, dkk: 2018).



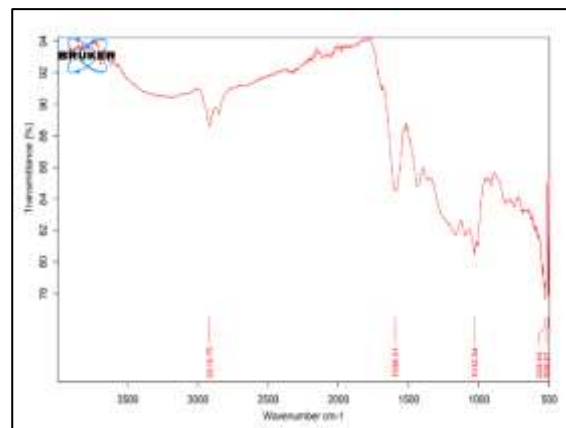
**Gambar 4.10** Spektrum Sampel 0,5 M setelah Proses Adsorpsi

Muncul serapan baru di bilangan gelombang  $507,28 \text{ cm}^{-1}$  yang diindikasikan adalah logam berat yang terikat di arang aktif (Peres, E.C, dkk: 2017).



**Gambar 4.11** Spektrum Sampel 1 M Sebelum Proses Adsorpsi

Pada bilangan gelombang  $1.600,48 \text{ cm}^{-1}$  serapan  $\text{C}=\text{C}$  (aromatik) yang menandakan ciri khas karbon aktif (Rajak, V.K, dkk: 2018).



**Gambar 4.12** Spektrum Sampel 1 M Setelah Proses Adsorpsi

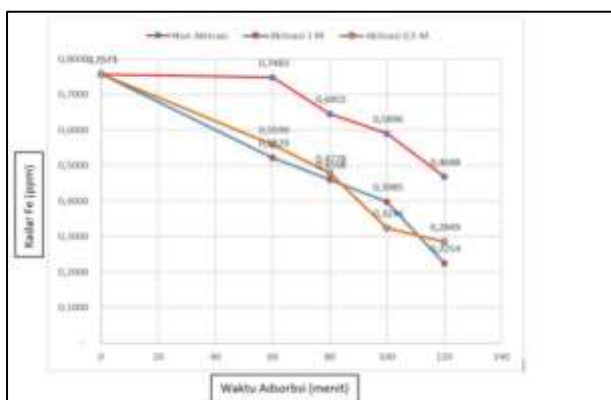
Muncul serapan baru di bilangan gelombang 506,97  $\text{cm}^{-1}$  yang diindikasikan adalah logam berat yang terikat di arang aktif (Peres, E.C, dkk: 2017).

#### 4.5 Uji Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

**Tabel 4.2 Hasil Uji Atomic Absorption Spectrometry (AAS)**

| Larutan Sampel                         | Aktivator    | Waktu Adsorpsi (menit) | Konsentrasi Aktivator (M) | Penurunan Konsentrasi Fe (ppm) |
|----------------------------------------|--------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Limbah Air Lindi Batubara (0,7573 ppm) | Asam Sitrat  | 60                     | 1                         | 0,5229                         |
|                                        |              |                        | 0,5                       | 0,5590                         |
|                                        |              | 80                     | 1                         | 0,4598                         |
|                                        |              |                        | 0,5                       | 0,4778                         |
|                                        |              | 100                    | 1                         | 0,3985                         |
|                                        |              |                        | 0,5                       | 0,3246                         |
|                                        |              | 120                    | 1                         | 0,2254                         |
|                                        |              |                        | 0,5                       | 0,2849                         |
|                                        | Non Aktivasi | 60                     | 0                         | 0,7483                         |
|                                        |              | 80                     | 0                         | 0,6455                         |
|                                        |              | 100                    | 0                         | 0,5896                         |
|                                        |              | 120                    | 0                         | 0,4688                         |

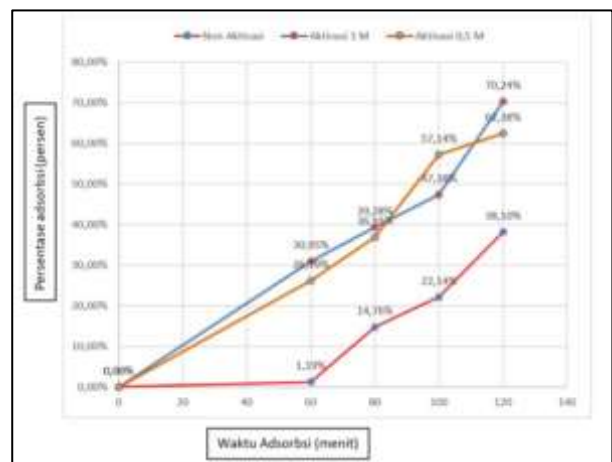
#### 4.6 Analisa Daya Serap Karbon Aktif dari Batubara Subbituminus Terhadap Konsentrasi Akhir Logam Fe (Besi)



**Gambar 4.13** Penurunan Kadar Fe dalam Waktu Adsorpsi 60 menit, 80 menit, 100 menit dan 120 menit

Berdasarkan Gambar 4.13, penyerapan ion Fe mula-mula sebesar 0,7573 ppm. Pada batubara non aktivasi dapat menurunkan kadar Fe hingga mencapai 0,4688 ppm. Batubara diaktivasi 0,5 M Asam Sitrat mampu menurunkan kadar Fe menjadi 0,2849 ppm. Sedangkan pada batubara dengan aktivasi 1 M mampu menurunkan kadar Fe menjadi 0,2254 ppm.

#### 4.7 Tingkat Keefektifan Dalam Proses Penjerapan Logam Fe



**Gambar 4.14** Persentase Keefektifan Penyerapan Kadar Fe dalam Waktu Adsorpsi 60 menit, 80 menit, 100 menit dan 120 menit

Efektifitas Penyerapan tertinggi terjadi pada batubara dengan aktivasi 1 M asam sitrat sebesar 70,24% dan penyerapan terendah terjadi pada batubara non aktivasi sebesar 38,10%.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan tersebut, maka dapat disimpulkan:

1. Adsorben dari batubara sub-bituminus mampu menurunkan kadar logam Fe dalam air limbah lindi dalam waktu yang sudah ditentukan.
2. Dari hasil penelitian, diperoleh hasil penjerapan kadar ion logam berat Fe (besi) pada limbah air lindi tertinggi diperoleh pada karbon aktif dengan aktivator 1 M

asam sitrat yaitu dengan persentase adsorpsi sebesar 70,24% pada waktu penjerapan 120 menit. sedangkan untuk penjerapan terendah, diperoleh dari batubara non aktivasi dengan persentase adsorpsi sebesar 38,10% pada waktu penjerapan 120 menit.

## 5.2 Saran

Dari pembahasan tersebut, maka dapat disarankan:

1. Dilakukan aktivasi batubara sub bituminus dengan menggunakan aktivator lain.
2. Dilakukan penelitian dengan variasi parameter lain, seperti berat adsorben, jenis karbon aktif, jenis aktivator, perbandingan antara limbah lindi dengan berat adsorben dll.

## DAFTAR PUSTAKA

Adi Lystanto, P., Kunthi Pratiwi, dan, Yani Tromol Pos, J. A., & Kartasura, P. 2012. *Pemanfaatan Karbon Aktif Arang Batubara (Kaab) untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Berat  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Ag}^+$  Pada Limbah Cair Industri* (Vol. 14, Issue 1).

Antika, R., Deasy Siregar, S., Yunita Pane, P., Lingkungan, D. K., & Masyarakat, K. 2019. *Efektivitas Karbon Aktif Tongkol Jagung Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur Gali Di Desa Amplas Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang Effectiveness Of Activated Carbon From Corncob In Decreasing Fe and Mn Concentration In The Dig Well Water In Amplas Village Percut Sei Tuan District Deli Serdang Regency. Jurnal Kesehatan Global* (Vol. 2, Issue 2).

Azaayurosmalasari\_1413100087\_Pengolahan limbahcair. (N.D.).

Billah, M. (N.D.-A). *Peningkatan Nilai Kalor Batubara Peringkat Rendah Dengan Menggunakan Minyak Tanah dan Minyak Residu Oleh Delima, A., Harahap, H., Verantika, F., Fahmi, N. Y., Protonia Tanjung,*

A., & Suhendrayatna, D. 2017. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNP) UNSYIAH.*

Fisika, J., Nurdila, F. A., Asri, N. S., & Suharyadi, D. E. 2015. *Femila Amor Nurdila / Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe) dan Nikel (Ni) Dalam Artificial Limbah Cair Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Nikel (Ni) Dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ).*

Gumelar, D., Hendrawan, Y., Yulianingsih, R., Keteknikan, J., Teknologi, P.-F., Brawijaya, P.- U., Veteran, J., & Korespondensi, P. 2015. *Pengaruh Aktivator dan Waktu Kontak Terhadap Kinerja Arang Aktif Berbahan Eceng Gondok (Eichornia Crossipes) Pada Penurunan COD Limbah Cair Laundry. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem* (Vol. 3, Issue 1).

Ghafarunnisa, D., Rauf, A., Tyas, B., Rukmana, S., Magister, M., Pertambangan, T., Veteran, U. ", Yogyakarta, ", & Pertambangan, D. T. 2017. *Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta* (Vol. 36).

Huda, S., Dwi Ratnani dan Laeli Kurniasari Jurusan Teknik Kimia, R., Teknik, F., Wahid Hasyim Jl. Menoreh Tengah, U. X., Mungkur Kota Semarang Jawa Tengah, G., & Berkembangnya, A. (N.D.). *Karakterisasi Karbon Aktif. (Huda, dkk.) 22 Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bambu Ori (Bambusa Arundinacea) yang Diaktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl).*

Limbah, P. P., Menggunakan, I., Aktif, K., Batubara, D., Tabalong, T., Selatan, K., Ulum, M., Gani, A., & Widodo, D. 2011. *Experiment of Industrial Waste Absorption Using Activated Carbon From Coal Of Tanjung Tabalong, South Kalimantan. Jurnal Geologi Indonesia* (Vol. 6, Issue Desember).

Mentari, V. A., & Maulina, S. 2018. *Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat ( $H_3PO_4$ ) dan Asam Nitrat ( $HNO_3$ )*. *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*, 1 (2), 204–208. <https://doi.org/10.32734/st.v1i2.299>

PERMENLH No.8 tahun 2009. (N.D.). *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bambu Menggunakan Aktivator HCl Sebagai Adsorben Timbal (Pb)*. (N.D.).

Peres, E. C., Cunha, J. M., Dortzbacher, G. F., Pavan, F. A., Lima, É. C., Foletto, E. L., & Dotto, G. L. 2018. *Treatment Of Leachates Containing Cobalt By Adsorption On Spirulina Sp. And Activated Charcoal*. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 677–685. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.060>

Prabarini, N., & Okayadnya, D. G. (N.D.). *Penyisihan Logam Besi (Fe) Pada Air Sumur Dengan Karbon Aktif Dari Tempurung Kemiri*. In *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* (Vol. 5, Issue 2).

Rajak, V. K., Kumar, S., Thombre, N. V., & Mandal, A. (2018). *Synthesis Of Activated Charcoal From Saw-Dust And Characterization For Adsorptive Separation Of Oil From Oil-In- Water Emulsion*. *Chemical Engineering Communications*, 205(7), 897–913. <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1423288>

Sains dan Teknologi Lingkungan, J., Sekam Padi, D., Trivana, L., Sugiarti, S., Rohaeti, E., Penelitian Tanaman Palma, B., Raya Mapanget POBOX, J., Kimia, J., Mipa, F., Pertanian Bogor, I., & Raya Darmaga Kampus IPB Darmaga, J. 2015. *Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat ( $Na_2SiO_3$ )*. 7(2), 66–75

Silverstein - *Spectrometric Identification Of Organic Compounds 7th Ed.* (N.D.).

Zaini, H., & Sami, M. (N.D.). *Kinetika Adsorpsi Pb(II) Dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom Dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah*.