

PENGARUH UKURAN BUTIR BATUBARA DAN KOMPOSISI BATUBARA-ZnCl₂ PADA DAYA SERAP KARBON AKTIF TERHADAP LOGAM Fe, Cu DAN Zn DALAM LIMBAH CAIR

The Influence of Grain Size of Coal and Composition of Coal-ZnCl₂ on Activated Carbon Adsorption Against Fe, Cu and Zn Metals in Wastewater

SULIESTYAH, EDY J. TUHETERU dan PANCANITA N. HARTAMI

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi
Universitas Trisakti
Gedung D, Lt 2, Jalan Kyai Tapa No.1, Grogol, Jakarta 11440
e-mail: suliestyah@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Percobaan pembuatan karbon aktif berbahan baku batubara dengan variasi ukuran butir 10, 20, 40, 60, 80, dan 100 mesh telah dilakukan. Aktivasi kimia menggunakan ZnCl₂ dengan komposisi 70% batubara - 30% ZnCl₂ dan 60% batubara - 40% ZnCl₂ dengan karbonisasi pada temperatur 500°C selama 1 jam. Contoh batubara diambil dari PT.Tambang Batubara Bukit Asam unit Penambangan Tanjung Enim Sumatera Selatan, lokasi penambangan Bangko. Pembuatan karbon aktif bertujuan untuk mempelajari potensi aplikasinya sebagai adsorben logam pada limbah cair. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bilangan iodin tertinggi adalah 1298 mg/g pada produk karbon aktif yang dibuat dengan komposisi 60% batubara - 40% ZnCl₂ dengan ukuran butir batubara 60 mesh. Uji daya serap karbon aktif terhadap logam Fe pada limbah cair dengan konsentrasi awal 33,05 ppm menunjukkan serapan hingga 99%. Pada konsentrasi awal Cu 25,15 ppm, daya serap logam Cu hingga 50,89% sedangkan pada konsentrasi awal Zn 49,15 ppm menunjukkan serapan hingga 78,07%. Besarnya bilangan iodin pada karbon aktif tidak menjamin tingginya daya serap karbon aktif terhadap logam, melainkan bergantung pada jenis logam dan konsentrasi awal logam tersebut. Untuk logam Cu, semakin tinggi bilangan iodin semakin tinggi pula daya serap karbon aktif. Secara umum serapan logam Fe, Cu dan Zn oleh karbon aktif produk penelitian ini mengikuti persamaan Isotermal Freundlich dalam proses isotermal. Berdasarkan Isotermal Freundlich, untuk serapan logam Fe dengan konsentrasi awal 33,05 ppm diperoleh kapasitas adsorpsi 21,2 mg/g dengan energi adsorpsi 28,388 KJ/mol. Untuk serapan logam Cu dengan konsentrasi awal 25,15 ppm mempunyai kapasitas adsorpsi 0,0043 mg/g dengan energi adsorpsi 26,532 KJ/mol dan untuk serapan logam Zn dengan konsentrasi awal 49,15 ppm mempunyai kapasitas adsorpsi 0,086 mg/g dengan energi adsorpsi 27,642 KJ/mol.

Kata kunci: Karbon aktif, aktivasi kimia, karbonisasi, adsorpsi logam, Isotermal Freundlich.

ABSTRACT

The experiment of coal-based activated carbon with the variation of grain size of 10, 20, 40, 60, 80 and 100 mesh has been conducted. The chemical activation using ZnCl₂ with composition of coal-ZnCl₂ of 70% - 30% and 60% - 40% were carbonized at temperature of 500°C for 1 hour. Coal sample was taken from PT.Tambang Batubara Bukit Asam, Bangko coal mine, Tanjung Enim South Sumatera. The study of activated carbon production is aimed to know the potential application of activated carbon as metal adsorbent in wastewater. The observation showed that the highest iodine number is 1298 mg/g on activated carbon product that was made at

coal-ZnCl₂ composition of 60% and 40% respectively with the coal grain size of 60 mesh. Activated carbon adsorption test against Fe metal in wastewater at the initial concentration of 33.05 ppm, the absorption was 99%. Cu in the initial concentration of 25.15 ppm, the absorption was 50,89%, while the absorption of Zn at the initial concentration of 49.15 ppm was 78,07%. The high iodine number of activated carbon, did not show the high adsorption capacity of the metals, but rather depends on the type and the initial concentration of the metals. For Cu metal, the higher the iodine number, the higher the adsorption. In general, the absorption of Fe, Cu and Zn metals by activated carbon made in this research follows the Isothermal Freundlich equation of isothermal process. Based on the Isothermal Freundlich, for metal adsorption of Fe at the initial concentration of 33.05 ppm has adsorption capacity of 21.2 mg/g with adsorption energy of 28.388 KJ/mol. For the adsorption of Cu at the initial concentration of 25.15 ppm has adsorption capacity of 0.0043 mg/g and adsorption energy 26.532 KJ/mol and for Zn metal adsorption at the initial concentration of 49.15 ppm has adsorption capacity of 0.086 mg/g and adsorption energy 27.642 KJ/mol.

Keywords: Activated carbon, chemical activation, carbonization, metal adsorption, Isothermal Freundlich.

PENDAHULUAN

Pembuatan karbon aktif dari batubara diharapkan dapat menghasilkan produk karbon aktif yang berkualitas baik untuk mengurangi penggunaan bahan baku yang jumlahnya terbatas, seperti pembuatan karbon aktif dengan bahan baku tempurung kelapa (Anggarini, Tjahjanto dan Darjito, 2013), tongkol jagung (Alfiany, Bahri dan Nurakhirawati, 2013), cangkang sawit (Ibrahim, Martin dan Nasruddin, 2015), dan ampas tebu (Karimah dan Sudibandriyo, 2013). Beberapa percobaan pembuatan karbon aktif dengan bahan baku batubara peringkat rendah telah dilakukan serta aplikasinya sebagai adsorben logam berat (Kusmiyati, Lystanto dan Pratiwi, 2012; Payung, Sitorus dan Alimuddin, 2014). Batubara dari PT. Tambang Batubara Bukit Asam unit penambangan Tanjung Enim jenis subbituminus juga telah digunakan dalam percobaan pembuatan karbon aktif yang menghasilkan karbon aktif dengan bilangan iodin 493 mg/g (Payung, Sitorus dan Alimuddin, 2014). Batubara yang berasal dari Kabupaten Kampar-Riau juga telah digunakan dalam pembuatan karbon aktif yang menghasilkan karbon aktif dengan bilangan iodin 686 mg/g (Anjoko, Dewi dan Malik, 2014).

Pengembangan metode pembuatan karbon aktif batubara telah dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (*tekMIRA*) melalui proses karbonisasi dan aktivasi fisika menggunakan uap air. Percobaan pada skala laboratorium menggunakan batubara lignit dilakukan melalui proses karbonisasi pada suhu 500-600°C selama 30-90 menit, dilanjutkan dengan aktivasi fisika pada suhu

60-120 menit. Proses ini menghasilkan karbon aktif dengan bilangan iodin 435-552 mg/g. Puslitbang tekMIRA juga telah melakukan uji coba skala pilot dengan sistem proses yang berlangsung secara kontinu dengan ukuran butir batubara 1-3 cm pada laju umpan 100 kg/jam. Karbonisasi berlangsung pada suhu 500-600°C dilanjutkan dengan aktivasi fisika menggunakan uap air pada suhu 900°C selama 5 jam. Produk karbon aktif pada proses ini mempunyai bilangan iodin 200-688°C (Monika, 2016).

Pembuatan karbon aktif berbahan baku batubara peringkat rendah dengan aktivasi menggunakan campuran KOH-NaOH menghasilkan bilangan iodin 1004-1198 mg/g (Monika, 2016), sedangkan pembuatan karbon aktif berbahan baku batubara bituminus dengan aktivator H₃PO₄ dan NH₄HCO₃ menghasilkan karbon aktif dengan bilangan iodin 1238,5 mg/g. Pembuatan karbon aktif dari batubara dengan aktivator ZnCl₂ memberikan bilangan (Sulistyah dan Astuti, 2014) dengan komposisi ZnCl₂ 40% pada ukuran butir batubara 100 mesh. Uji daya serap karbon aktif hasil penelitian tersebut terhadap logam Fe dan Cu pada konsentrasi awal 50 ppm menunjukkan adanya serapan sekitar 40-50%, namun pada konsentrasi awal yang lebih tinggi hingga 350 ppm menunjukkan serapan yang semakin menurun hingga 10-20%.

Dalam penelitian ini dibuat pengembangan metode pembuatan karbon aktif berbahan baku batubara peringkat rendah melalui aktivasi kimia dan karbonisasi. Aktivasi kimia menggunakan ZnCl₂ sebanyak 30% dan 40% pada variasi ukuran butir 20-80 mesh. Produk karbon aktif hasil penelitian ini selanjutnya

diuji coba untuk penyerapan logam Fe, Cu dan Zn dalam limbah cair.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya serap karbon aktif yang dibuat dengan menggunakan aktivator ZnCl₂. Selain itu juga untuk mengetahui pengaruh ukuran butir batubara dan komposisi batubara - ZnCl₂ terhadap bilangan iodin karbon aktif dan terhadap daya serap karbon aktif pada logam Fe, Cu dan Zn dalam limbah cair. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui sifat adsorpsi logam berdasarkan kurva isoterm Langmuir dan Freundlich.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium dengan tingkat eksplanasi komparatif, yaitu membandingkan perolehan dan bilangan iodin pada karbon aktif yang dihasilkan serta daya serapnya terhadap logam berdasarkan variasi ukuran butiran batubara dan variasi komposisi batubara-ZnCl₂. Dalam penelitian ini digunakan aktivator ZnCl₂ kualitas teknis dengan pertimbangan ekonomi, untuk mengatasi tingginya biaya pada penelitian terdahulu yang menggunakan aktivator ZnCl₂ yang berkualitas *pro analysis* (Suliestyah dan Astuti, 2014).

Percontoh yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PTBA Penambangan Bangko Barat Pit 1 Lapisan A2. Preparasi percontoh untuk pengecilan ukuran dilakukan menggunakan jaw crusher lalu dikeringkan menggunakan oven bersuhu 35°C selama 1 hari. Untuk reduksi ukuran selanjutnya menggunakan alat *hammer mill*, *dust mill*, dan *rocklabs*, lalu diayak menggunakan ayakan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan yaitu ukuran 10, 20, 40, 60, 80 dan 100 mesh.

Karakterisasi Bahan Baku Batubara

Karakterisasi batubara dilakukan melalui analisis proksimat dan pengukuran nilai kalor, untuk menentukan kualitas batubara yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini. Penentuan kualitas sampel batubara dilakukan di Laboratorium Batubara Puslitbang tekMIRA dengan menggunakan metode yang berbeda-beda untuk setiap parameter analisis. Untuk analisis kadar air

menggunakan metode ASTM D 3173, kadar abu ASTM D 3174, zat terbang ASTM D 3175, *fixed carbon* ASTM D 3172, total sulfur ASTM D 4239, dan nilai kalor ASTM D 5865.

Pembuatan Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia

Pada pembuatan karbon aktif, aktivasi kimia dilakukan menggunakan ZnCl₂ kualitas teknis. Pada tahap ini hasil preparasi percontoh batubara yang berukuran 10, 20, 40, 60, 80 dan 100 mesh dicampurkan dengan ZnCl₂ dengan 2 variasi komposisi untuk setiap ukuran batubara yaitu 70% batubara dan 30% ZnCl₂, dan 60% batubara dan 40% ZnCl₂. Sejumlah ZnCl₂ teknis sesuai berat yang dikehendaki dimasukkan ke dalam *beaker glass* 300 ml, lalu dilarutkan dengan 150-200 ml aquades. Ke dalam *beaker glass* tersebut ditambahkan batubara sesuai berat yang dikehendaki, dan dengan ukuran butir yang dikehendaki, lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit, dituangkan ke dalam pan untuk dipanaskan pada suhu 80°C selama 3 jam, kemudian suhu dinaikkan menjadi 105°C untuk pengeringan. Proses ini disebut sebagai aktivasi kimia dengan menggunakan ZnCl₂ teknis sebagai aktivator. Campuran tersebut selanjutnya dikeringkan sampai bobot tetap, lalu dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi untuk dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 1 jam. Selama karbonisasi berlangsung, ke dalam reaktor dialiri gas nitrogen dari mulai pemanasan sampai pendinginan. Bobot campuran sebelum dan sesudah karbonisasi dicatat untuk menghitung perolehan (*yield*).

Analisis Bilangan Iodin (SNI 0258 – 89)

Produk karbon aktif sebanyak 1 gr dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer, dibubuhi HCl 5%, dipanaskan sampai mendidih selama 30 detik, lalu didinginkan secara alami sampai suhu kamar. Selanjutnya dimasukkan 100 ml larutan iodin 0,1 N dengan pipet volume ke dalam erlenmeyer tersebut, lalu dikocok 1 menit dan disaring dengan kertas saring whatman No.42. Kemudian filtrat dipipet dengan pipet volume 25 mL di dalam labu erlenmeyer yang lain, ditetesi 2 – 3 tetes larutan kanji sebagai indikator lalu dititrasi dengan larutan natrium tio sulfat 0,1 N sampai warna kuning. Titrasi dilanjutkan sampai warna biru hilang. Titik

akhir titrasi adalah: satu tetes natrium tio sulfat berlebih, warna biru hilang. Pengukuran bilangan Iodin ini dilakukan terhadap setiap komposisi batubara-ZnCl₂ teknis pada setiap jenis ukuran butir batubara.

Pengujian Adsorpsi Terhadap Logam

1. Limbah cair yang mengandung logam Fe, Cu dan Zn diambil dari limbah Laboratorium Kimia di Kampus Universitas Trisakti Jakarta dengan 2 macam konsentrasi awal. Besarnya konsentrasi awal pada 2 macam limbah tersebut diukur dengan metoda AAS sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi awal limbah cair laboratorium

Logam	Konsentrasi awal (ppm)	
	Limbah Lab. Kimia	Limbah Lab. Lingkungan
Fe	33,05	237,35
Zn	66,67	49,15
Cu	3345	25,15

2. Percontoh limbah cair yang mengandung logam berat Fe, Cu dan Zn dipipet sebanyak 50 mL dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 100 mL.
3. Karbon aktif batubara yang diinginkan ditimbang, lalu dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang berisi limbah cair yang mengandung logam-logam di atas.
4. Labu erlenmeyer yang telah berisi karbon aktif dan limbah cair diletakkan di atas *shaker* dengan kecepatan 150 rpm dan disesuaikan dengan waktu kontak yang diinginkan.
5. Larutan kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 3.000 rpm selama 10 menit, lalu dianalisis kembali dengan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas percontoh batubara yang diuji meliputi analisis proksimat dan nilai kalor dengan data sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Setelah nilai kalor dikonversi ke dalam basis mmmf (Btu/lb), maka berdasarkan klasifikasi

menurut ASTM D388 dapat disimpulkan bahwa batubara dari Bangko - PT. Tambang Batubara Bukit Asam unit Penambangan Tanjung Enim yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini berada pada peringkat Subbituminus A (Speight, 2005; Miller, 2013).

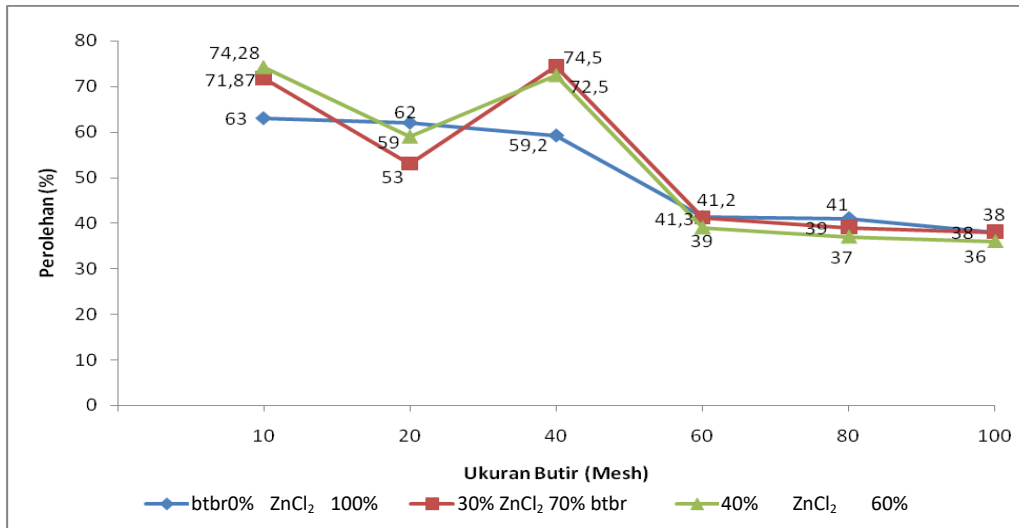
Dalam percobaan ini dibuat dua variasi komposisi prosentase batubara dan prosentase ZnCl₂ teknis (70% batubara-30% ZnCl₂ dan 60% batubara 40% ZnCl₂) dan 6 variasi ukuran butir batubara (10, 20, 40, 60, 80 dan 100 mesh) sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Blanko adalah bahan baku 100 % batubara tanpa aktivator ZnCl₂.

Produk karbon aktif yang dihasilkan memberikan perolehan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada Gambar 1 tampak bahwa antara ukuran butir 10-20 mesh mengalami penurunan perolehan, lalu mengalami kenaikan pada ukuran butir 40 mesh dan kembali mengalami penurunan hingga ukuran butir 100 mesh. Kecenderungan penurunan dan kenaikan perolehan terjadi pada ukuran butir yang sama pada kedua variasi komposisi, baik pada komposisi 70% batubara-30% ZnCl₂ maupun pada 60% batubara-40% ZnCl₂. Pada kedua variasi komposisi tersebut tampak perolehan terbesar pada ukuran butir 40 mesh (dengan perolehan sekitar 72-74%). Pada batubara blanko, perolehan cenderung mengalami penurunan dari batubara berukuran 10 mesh hingga 100 mesh. Dalam fenomena ini terjadi penyimpangan pada batubara ukuran 40 mesh, kemungkinan pada percontoh ini terjadi peningkatan pembentukan mikropori, lalu berkurang lagi pada ukuran 60 mesh hingga 100 mesh. Hal ini berkaitan dengan kenaikan *yield* pada peningkatan pembentukan mikropori dan penurunan *yield* pada peningkatan massa yang hilang (Rijali, 2015). Dalam penelitian sebelumnya, pada ukuran butir batubara yang sama (40 mesh) dan komposisi karbon aktif yang sama (70% batubara - 30% ZnCl₂) menghasilkan perolehan lebih kecil (42%) disebabkan bahan baku yang digunakan berbeda yaitu batubara Arutmin dengan peringkat Lignit (Sulistyah dan Astuti, 2008).

Tabel 2. Hasil analisis kualitas batubara (dalam air dried basis, adb)

Kadar Air Lembab (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (Kal/g)	Kadar Sulfur (%)
11,7	0,78	35,47	52,05	5619	0,24

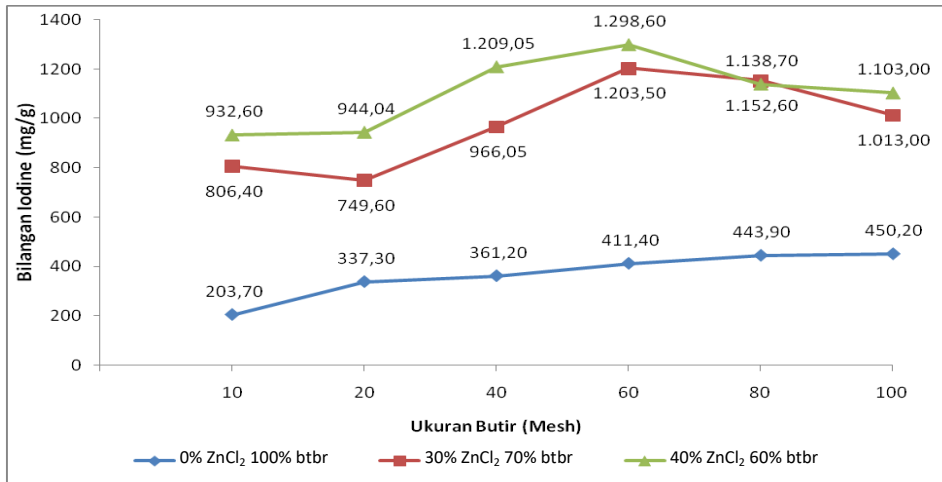


Gambar 1. Hubungan antara ukuran butir batubara dengan perolehan pada beberapa komposisi batubara-ZnCl₂

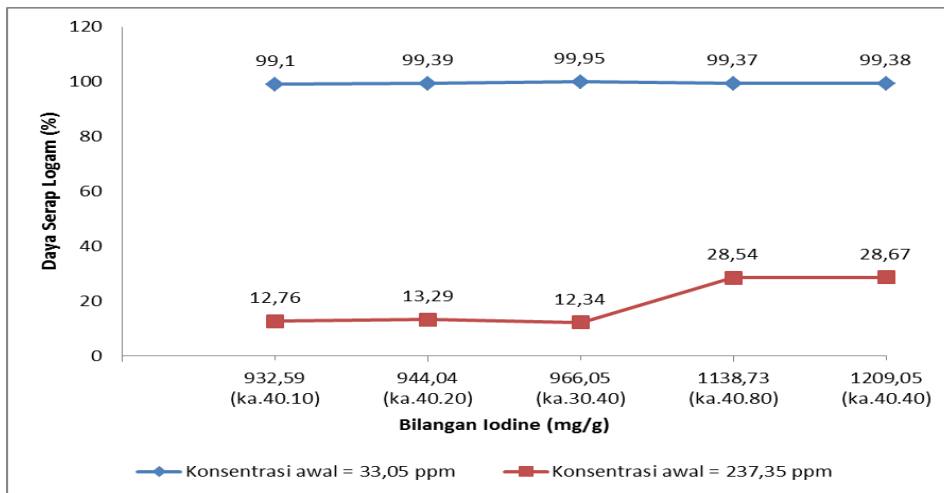
Gambar 2 menunjukkan kecenderungan bilangan Iodin pada ukuran butir yang bervariasi pada komposisi 70% batubara-30% ZnCl₂ maupun 60% batubara-40% ZnCl₂. Bilangan Iodin merupakan parameter yang biasa dipakai untuk mengukur daya serap batubara yang dinyatakan dalam satuan mg/g batubara. Pada batubara yang masih asli (belum disintesis menjadi karbon aktif), pada semua ukuran butir batubara, besarnya bilangan Iodin lebih kecil dibandingkan dengan batubara yang telah mengalami aktivasi dan karbonisasi menjadi karbon aktif (Pambayun dkk., 2013). Setelah batubara disintesis menjadi karbon aktif, bilangan Iodin pada kedua variasi komposisi dan variasi ukuran butir menunjukkan kecenderungan yang serupa. Pada kedua variasi komposisi, bilangan Iodin tertinggi terdapat pada ukuran butir 60 mesh. Pada komposisi 70% batubara-30% ZnCl₂ bilangan Iodin tertinggi 1203,5 mg/g, dan pada komposisi 60% batubara-40% ZnCl₂ bilangan Iodin tertinggi 1298,6 mg/g. Pada ukuran butir yang lebih halus dari 60 mesh justru bilangan Iodin mulai menurun.

Hal ini disebabkan karena pada ukuran butir yang lebih kecil dari 60 mesh pengaruh impregnasi ZnCl₂ mulai menunjukkan pembentukan mesopori dan pembentukan mikropori mulai berkurang. Sedangkan Mekanisme adsorpsi Iodin adalah pengisian molekul pada mikropori karbon aktif sehingga bilangan Iodin mulai menurun. (Rijali, Malik dan Zulkarnain, 2015).

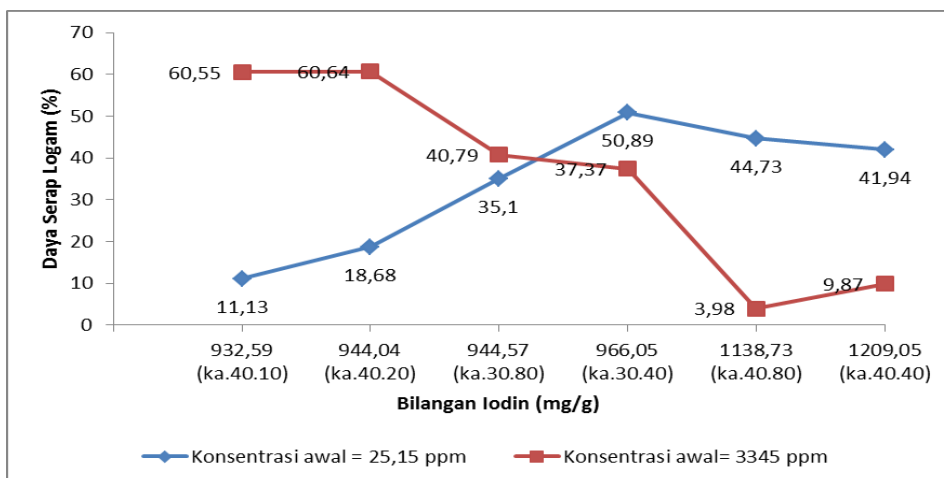
Pengujian daya serap karbon aktif terhadap logam dilakukan menggunakan karbon aktif dengan kode Ka.40.10 (karbon aktif dengan komposisi ZnCl₂ 40%, ukuran butir 10 mesh), Ka.40.20(karbon aktif dengan komposisi ZnCl₂ 40%, ukuran butir 20 mesh), (Ka.30.40 karbon aktif dengan komposisi ZnCl₂ 30%, ukuran butir 40 mesh), Ka.40.80 (karbon aktif dengan komposisi ZnCl₂ 40%, ukuran butir 80 mesh), dan Ka.40.40 (karbon aktif dengan komposisi ZnCl₂ 40%, ukuran butir 40 mesh). Hasil pengujian di laboratorium memberikan tingkat daya serap karbon aktif terhadap logam Fe, Cu dan Zn seperti terlihat pada Gambar 3, 4, dan 5.



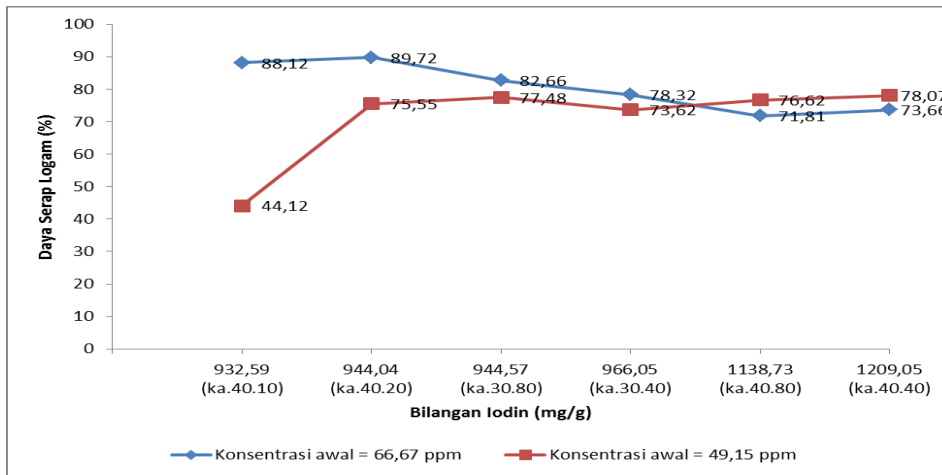
Gambar 2. Hubungan antara ukuran butir batubara dengan bilangan Iodine pada beberapa komposisi batubara-ZnCl₂



Gambar 3. Hubungan antara bilangan Iodin dengan daya serap logam Fe



Gambar 4. Hubungan antara bilangan Iodin dengan daya serap logam Cu



Gambar 5. Hubungan antara bilangan iodin dengan daya serap logam Zn

Pada Gambar 3 tampak bahwa kecenderungan daya serap karbon aktif terhadap logam Fe dipengaruhi oleh konsentrasi awal Fe dalam larutan. Pada konsentrasi awal 33,05 ppm, semakin tinggi bilangan iodin menunjukkan daya serap yang hampir sama sekitar 99%. Artinya serapan karbon aktif terhadap logam Fe tidak dipengaruhi secara signifikan oleh bilangan iodin. Sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 237,35 ppm terdapat kecenderungan yang berbeda. Pada bilangan iodin antara 932-966 mg/g serapan karbon aktif terhadap logam Fe tidak berubah sekitar 12-13%, sedangkan pada bilangan iodin antara 966-1209 mg/g serapan karbon aktif terhadap logam Fe mengalami peningkatan dari 12,34% hingga 28,67%. Secara umum, serapan karbon aktif terhadap logam Fe lebih besar dengan konsentrasi awal yang rendah dibandingkan dengan serapan karbon aktif terhadap logam Fe dengan konsentrasi awal yang tinggi. Hal ini disebabkan karena mekanisme adsorpsi ion logam pada karbon aktif didominasi oleh interaksi dengan gugus fungsi oksigen pada permukaan karbon sehingga terjadi pertukaran ion (Talunoe, Nurhaeni dan Mirzan, 2015). Pada konsentrasi awal yang rendah, hampir semua ion dapat teradsorpsi melalui mekanisme tersebut, namun tidak demikian halnya pada konsentrasi awal yang tinggi.

Pada Gambar 4 tampak bahwa kecenderungan daya serap karbon aktif terhadap logam Cu dipengaruhi oleh konsentrasi awal Cu dalam larutan. Pada konsentrasi awal 25,15 ppm, semakin tinggi bilangan Iodin menunjukkan

daya serap logam Cu meningkat hingga sekitar 40-50%. Sedangkan pada konsentrasi awal yang lebih tinggi yaitu 3345 ppm terdapat kecenderungan yang berbeda, yaitu pada bilangan iodin yang semakin tinggi maka serapan logam Cu justru semakin menurun, serapan semula 60,55% turun hingga 9,87%. Dalam serapan karbon aktif terhadap logam Cu, karbon aktif dengan bilangan iodin yang semakin tinggi tidak menjamin daya serapnya terhadap logam Cu semakin besar. Hal ini disebabkan karena mekanisme adsorpsi karbon aktif terhadap iodin berbeda dengan mekanisme adsorpsi terhadap ion logam (Sianipar, Zaharah dan Syahbanu, 2016).

Pada Gambar 5 tampak bahwa kecenderungan daya serap karbon aktif terhadap logam Zn dipengaruhi oleh konsentrasi awal Zn dalam larutan. Pada konsentrasi awal 49,15 ppm, semakin tinggi bilangan iodin menunjukkan daya serap yang semakin besar antara 44,12-78,07%. Sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 66,67 ppm terdapat kecenderungan yang berbeda. Semakin tinggi bilangan iodin menunjukkan daya serap yang menurun antara 88,12 hingga 73,66%. Hal ini kemungkinan pada konsentrasi Zn yang rendah, mekanisme penyerapan ion logam sama dengan mekanisme penyerapan bilangan iodin, namun tidak demikian halnya mekanisme penyerapan logam pada konsentrasi yang tinggi. Hal ini dikarenakan adsorpsi Zn tidak bergantung pada luas permukaan tapi bergantung pada konsentrasi larutan (Indrasti, Subroto dan Gunawan, 2005).

Sifat Adsorpsi Berdasarkan Kurva Isotermal Langmuir dan Freundlich

Langmuir berpendapat bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan yang homogen. Persamaan Langmuir : (Atkins dan Paula, 2010)

$$\frac{x}{m} = \frac{abc}{1+ac}$$

keterangan:

- x = jumlah material yang terserap (mg).
- m = berat adsorben/karbon aktif (g).
- C = konsentrasi material yang tetap dalam larutan (tidak terserap) setelah proses adsorpsi terjadi (mg/L).

Kurva Isotermal Langmuir diperoleh dengan membuat grafik antara x/m versus 1/C. Persamaan Freundlich (Atkins dan de Paula, 2010):

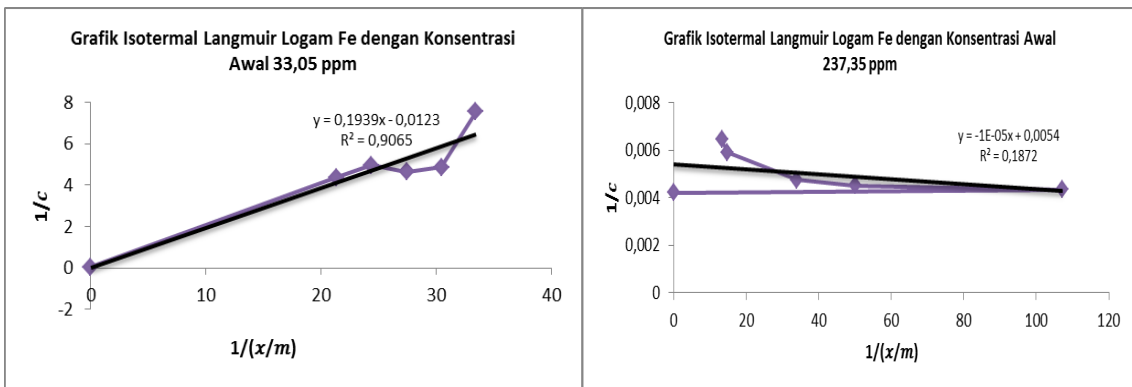
$$\frac{x}{m} = KC^{\frac{1}{n}}$$

keterangan:

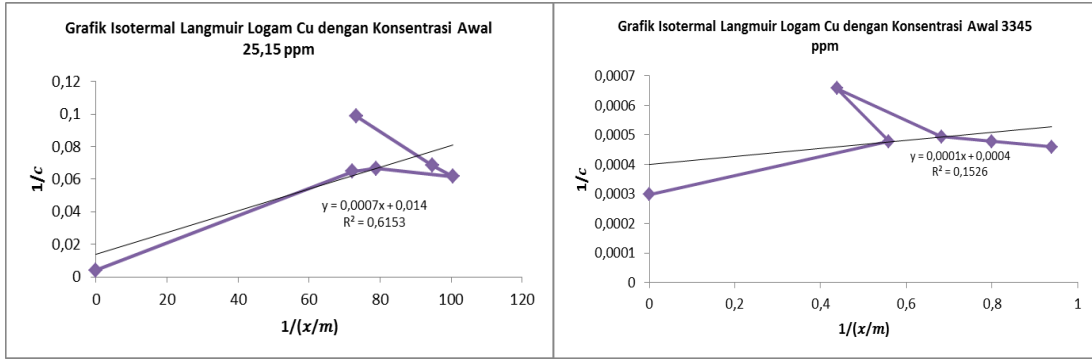
- x = jumlah material yang terserap (mg)
- m = berat adsorben/ karbon aktif (g)
- C = konsentrasi material yang tetap ada dalam larutan (tidak terserap) setelah proses adsorpsi (mg/l).

K dan n adalah konstanta yang berbeda untuk setiap larutan dan suhu. Kurva Isotermal Freundlich diperoleh dengan membuat grafik antara log (x/m) versus log C.

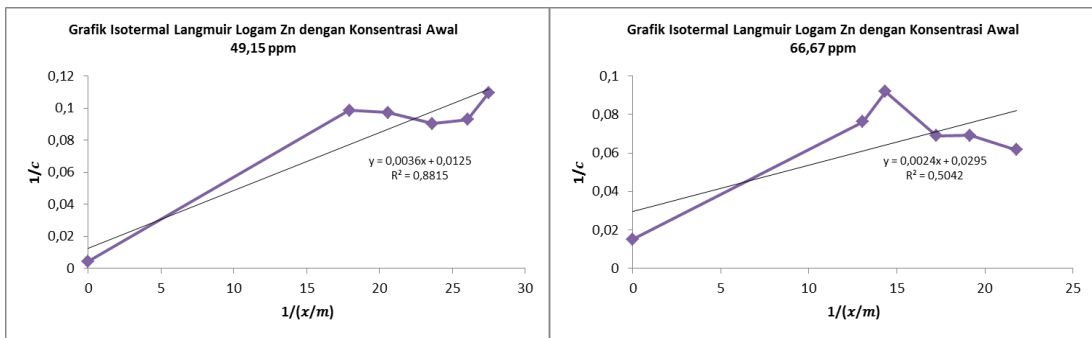
Gambar 6, 7 dan 8 menunjukkan bahwa adsorpsi untuk ketiga logam Fe, Cu dan Zn pada konsentrasi awal rendah maupun tinggi tidak mengikuti Isotermal Langmuir karena nilai korelasi linier R² sangat rendah, yaitu 0,1526 - 0,9065. Sedangkan Gambar 9,10 dan 11 menunjukkan bahwa adsorpsi ketiga logam Fe, Cu dan Zn pada konsentrasi awal rendah mengikuti Isotermal Freundlich dengan nilai korelasi linier R² mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi antara ion logam dengan karbon aktif cenderung bersifat fisisorpsi. Selain itu, pori-pori yang terbentuk pada karbon aktif bersifat heterogen sehingga ion logam yang teradsorpsi pada permukaan arang aktif membentuk lapisan multilayer (Aditya, Yusnimar dan Zultiniar, 2016). Pada konsentrasi awal ion logam tinggi tidak mengikuti isotermal Freundlich, oleh karena itu untuk menentukan besarnya kapasitas adsorpsi dan energi yang dilepaskan ketika terjadi adsorpsi dapat menggunakan Persamaan Freundlich pada konsentrasi awal logam yang cukup rendah. Tabel 3 menunjukkan sifat adsorpsi berdasarkan isotermal Freundlich untuk masing-masing logam Fe, Cu dan Zn.



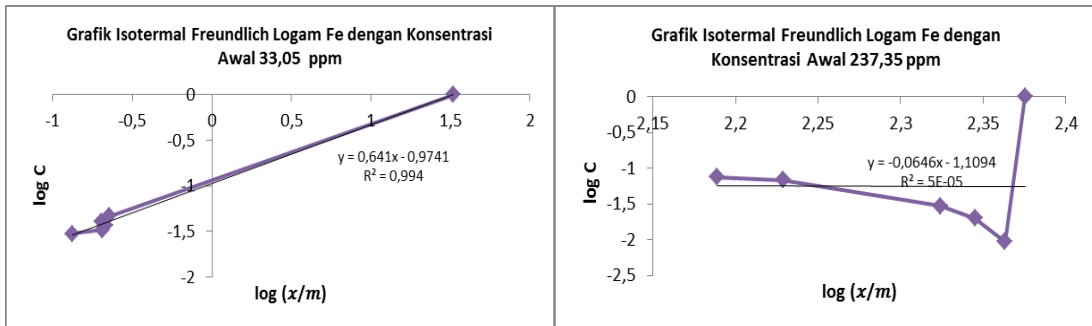
Gambar 6. Kurva Isotermal Langmuir untuk serapan logam Fe dengan konsentrasi awal berbeda



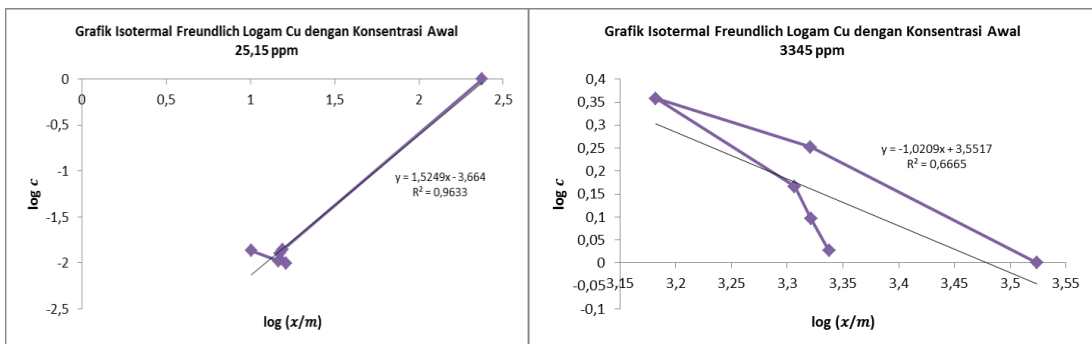
Gambar 7. Kurva Isothermal Langmuir untuk serapan logam Cu dengan konsentrasi awal berbeda



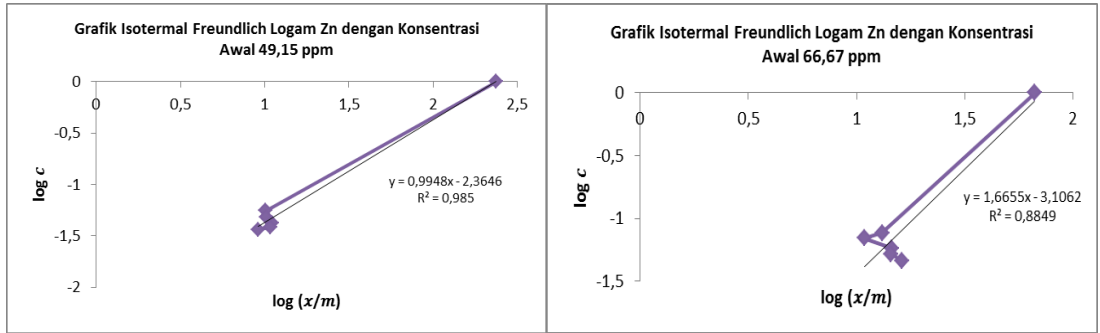
Gambar 8. Kurva Isothermal Langmuir untuk serapan logam Zn dengan konsentrasi awal berbeda



Gambar 9. Kurva Isothermal Freundlich untuk serapan logam Fe dengan konsentrasi awal berbeda



Gambar 10. Kurva Isothermal Freundlich untuk serapan logam Cu dengan konsentrasi awal berbeda



Gambar 11. Kurva Isotermal Freundlich untuk serapan logam Zn dengan konsentrasi awal berbeda

Tabel 3. Sifat adsorpsi berdasarkan isotermal Freundlich

Serapan Logam	Nilai R ²	Energi Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi
Fe (C awal 33,05 ppm)	0,994	28,388 KJ/mol	21,2 mg/g
Cu (C awal 25,15 ppm)	0,963	26,532 KJ/mol	0,0043 mg/g
Zn (C awal 49,15 ppm)	0,985	27,641 KJ/mol	0,086 mg/g

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Karbon aktif dapat dibuat dengan bahan baku batubara peringkat rendah dari Bangko-PT. Tambang Batubara Bukit Asam unit penambangan Tanjung Enim dengan metode aktivasi kimia menggunakan ZnCl₂ berkualitas teknis.
- Pada pembuatan karbon aktif dengan variasi ukuran butir dan komposisi batubara- ZnCl₂, ukuran butir batubara yang memberikan bilangan iodin tertinggi adalah pada ukuran butir 60 mesh dengan komposisi 60% batubara-40% ZnCl₂dengan bilangan iodin 1298 mg/g.
- Semakin kecil ukuran butir batubara maka perolehan karbon aktif semakin kecil, kecuali terdapat penyimpangan pada ukuran butir 40 mesh. Pada ukuran terkecil, yaitu 100 mesh perolehan karbon aktif hanya sekitar 38% dari berat bahan baku campuran batubara-ZnCl₂.
- Hasil uji daya serap karbon aktif terhadap logam Fe menunjukkan bahwa pada konsentrasi awal Fe yang rendah, serapan karbon aktif lebih tinggi dibandingkan pada konsentrasi awal Fe yang tinggi.
- Hasil uji daya serap karbon aktif terhadap logam Cu menunjukkan bahwa pada

konsentrasi awal Cu yang rendah, semakin tinggi bilangan lodin maka semakin tinggi pula serapan logam Cu. Namun pada konsentrasi awal Cu yang tinggi, semakin tinggi bilangan lodin maka serapan logam Cu justru semakin menurun.

- Hasil uji daya serap karbon aktif terhadap logam Zn menunjukkan bahwa pada konsentrasi awal Zn yang rendah, semakin tinggi bilangan lodin maka semakin besar serapan karbon aktif. Sedangkan pada konsentrasi awal Zn yang tinggi, semakin tinggi bilangan iodin justru serapan karbon aktif menurun.
- Besarnya bilangan iodin pada karbon aktif tidak selalu menjamin tingginya daya serap karbon aktif terhadap logam, melainkan bergantung pada jenis logam dan juga pada konsentrasi awal logam tersebut.
- Berdasarkan Isotermal Freundlich, diperoleh untuk serapan logam Fe dengan konsentrasi awal 33,05 ppm mempunyai kapasitas adsorpsi 21,2 mg/g dengan energi adsorpsi 28,388 KJ/mol. Untuk serapan logam Cu dengan konsentrasi awal 25,15 ppm mempunyai kapasitas adsorpsi 0,0043 mg/g dengan energi adsorpsi 26,532 KJ/mol. Sedangkan untuk serapan logam Zn dengan konsentrasi awal 49,15 ppm mempunyai kapasitas adsorpsi 0,086 mg/g dengan energi adsorpsi 27,642 KJ/mol.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menguji daya serap karbon aktif hasil penelitian terhadap logam-logam berat yang lain seperti Mn, Cr, Co, Pb dan Ni agar dapat diketahui potensi pemanfaatan karbon aktif sebagai adsorben logam berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak terkait seperti Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Hibah Penelitian Nomor: 003/SP2H/LT/DRPM/III/2016 dan 214/SP2H/LT/DRPM/III/2016 yang telah membiayai penelitian ini, serta kepada PT Bukit Asam Batubara Unit penambangan Tanjung Enim yang telah memfasilitasi saat pengambilan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, K., Yusnimar and Zultiniar (2016) "Penentuan model isotherm adsorpsi ion Cu(II) pada karbon aktif tempurung kelapa," *JOM FTEKNIK*, 3(2), pp. 1–6. Available at: <http://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/11457>.
- Alfiany, H., Bahri, S. and Nurakhiwati (2013) "Kajian penggunaan arang aktif tongkol jagung sebagai adsorben logam Pb dengan beberapa aktivator asam," *Jurnal Natural Science*, 2(3), pp. 75–86. Available at: <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/ejurnalnalfmpa/article/view/1869>.
- Anggarini, D., Tjahjanto, R. T. and Darjito (2013) "Studi aktivasi arang dari tempurung kelapa dengan pengozonan," *Kimia Student Journal*, 2(1), pp. 400–406. Available at: <http://kimia.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jikub/article/view/305>.
- Anjoko, H., Dewi, R. and Malik, U. (2014) "Karakterisasi semi kokas dan analisa bilangan iodin pada pembuatan karbon aktif tanah gambut menggunakan aktivasi H₂O," *JOM FMIPA*, 1(2), pp. 63–69. Available at: <http://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFMIPA/article/view/3997>.
- Atkins, P. and de Paula, J. (2010) *Physical chemistry*. 9th Ed. New York: W. H. Freeman and Company.
- Ibrahim, Martin, A. and Nasruddin (2015) "Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif berbahan dasar cangkang sawit dengan metode aktivasi fisika menggunakan rotary autoclave," *JOM FTEKNIK*, 1(2), pp. 1–11. Available at: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/4108>.
- Indrasti, N. S., Subroto, M. A. and Gunawan, G. G. (2005) "Adsorpsi logam berat seng (Zn) dengan menggunakan akar rambut Solanum nigrum L galur A4 kering terimobilisasi dalam Na-alginat," *Jurnal Teknik Industri Pertambangan*, 15(1), pp. 1–9. Available at: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnaltin/article/view/4300>.
- Karimah, M. and Sudibandriyo, M. (2013) *Pembuatan karbon aktif berbahan baku ampas tebu dengan aktivasi termal menggunakan karbon dioksida (CO₂) dengan variasi laju alir dan temperatur aktivasi*. Universitas Indonesia. Available at: <http://lib.ui.ac.id/naskahringkas/2015-09/S-Mahfuzhoh Karimah>.
- Kusmiyati, Lystanto, P. A. and Pratiwi, K. (2012) "Pemanfaatan karbon aktif arang batubara (KAAB) untuk menurunkan kadar ion logam berat Cu²⁺ dan Ag⁺ pada limbah cair industri," *REAKTOR*, 14(1), pp. 51–60. doi: 10.14710/reaktor.14.1.51-60.
- Miller, K. (2013) "Coal analysis," in *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Elsevier, pp. 151–189. doi: 10.1533/9780857097309.1.151.
- Monika, I. (2016) "Potential study of Indonesia coal for adsorbed natural gas," *Indonesian Mining Journal*, 19(3), pp. 133–142. doi: 10.30556/imj.Vol19.No3.2016.406.
- Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., Rachimoellah, M. and Putri, E. M. M. (2013) "Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ sebagai adsorben untuk mengurai kadar fenol dalam air limbah," *Jurnal Teknik POMITS*, 2(1), p. F-116-F-120. doi: 10.12962/j23373539.v2i1.2437.
- Payung, Y. H., Sitorus, S. and Alimuddin (2014) "Pemanfaatan karbon aktif dari batubara kotor (dirty coal) sebagai adsorben ion logam Cd dan Pb dalam larutan," *Jurnal Kimia Mulawarman*, 11(2), pp. 94–96. Available at:

- <http://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/JKM/article/view/28>.
- Rijali, A., Malik, U. and Zulkarnain (2015) "Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari bambu betung dengan menggunakan activating agent H₂O," *JOM FMIPA*, 2(1), pp. 102–107. Available at: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFMIPA/article/view/4513/0>.
- Sianipar, L. D., Zaharah, T. A. and Syahbanu, I. (2016) "Adsorpsi Fe(II) dengan arang kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.) teraktivasi asam klorida," *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(2), pp. 50–59. Available at: <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/14899>.
- Speight, J. G. (2005) *Handbook of coal analysis*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. doi: 10.1002/0471718513.
- Sulistyah and Astuti, A. D. (2008) *Pembuatan karbon aktif berbahan baku batubara peringkat rendah dari PT. Arutmin dan aplikasinya sebagai adsorben logam dalam pengolahan limbah cair*. Jakarta.
- Sulistyah and Astuti, A. D. (2014) "Pemanfaatan batubara peringkat rendah sebagai bahan baku karbon aktif dengan aktivator ZnCl₂," *Mindagi*, 8(2), pp. 75–81. Available at: <http://www.trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/index.php/mindagi/article/view/1919>.
- Talunoe, O., Nurhaeni, N. and Mirzan, M. (2015) "Pemanfaatan arang aktif kulit kacang tanah sebagai adsorben besi (Fe) pada air sumur di Desa Pendolo, Kec. Pamona Selatan, Kab. Poso," *KOVALEN*, 1(1), pp. 7–12. doi: 10.22487/j24775398.2015.v1.i1.5096.