

Karbon Aktif Termodifikasi $ZnCl_2$ untuk Adsorpsi Ion Logam $Fe(II)$ dalam Limbah Batik

Eka Sulistyaningsih

Jurusan Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Email: sulistyaningsih@akprind.ac.id

ABSTRACT

Increased batik industry make increased waste. One of the batik waste that pollute the environment is liquid waste containing iron ion. According to KEPMENKES RI No.492 / MENKES / PER / IV / 2010 dated April 19, 2010 regarding drinking water quality requirements, Fe content in drinking water is allowed only 0.3 mg / L in drinking water that has been contaminated by exceeding metal content contained that threshold of the predetermined. One way of processing liquid waste is by the adsorption process. This study aims to determine the effectiveness of modified activated carbon from bagasse (bagasse) as adsorbent. Modification was done by impregnating of $ZnCl_2$ to adsorb liquid waste containing $Fe(II)$ ion in batik waste. The variation of $ZnCl_2$ composition on impregnation with ratio (KAT): $ZnCl_2$ 1 : 0.5 and 1 : 0.75 with different activation time were 60 and 120 minutes. KAT was measured the water and the ash content before used in the adsorption process. The adsorption process was done with variations of time 1, 2, 3, 4 and 5 hours. The results showed that the water content of the activated carbon with longer activation had higher water content and higher ash content than the modified activated carbon with a shorter activation. In addition the percent value of adsorption using modified activated carbon (KAT): $ZnCl_2$ with a ratio of 1: 0.75 has a higher value than KAT: $ZnCl_2$ with a ratio of 1: 0.5. This is due to the addition of $ZnCl_2$ which makes open activated carbon cavity so that its adsorption ability increases. Overall, this study provides new insight into the production of $ZnCl_2$ modified activated carbon.

Keyword: adsorption, baggase, $Fe(II)$ ion, modified activated carbon, $ZnCl_2$

INTISARI

Meningkatnya industri batik mengakibatkan meningkatnya limbah yang dihasilkan. Menurut KEPMENKES RI No.492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 19 April 2010 tentang persyaratan kualitas air minum, kadar Fe dalam air minum yang diperbolehkan hanya 0,3 mg/L pada air minum yang telah tercemar oleh limbah cair tentu kadar logam yang terkandung melebihi ambang batas dari yang telah ditentukan. Salah satu cara pengolahan limbah cair adalah dengan proses adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas karbon aktif termodifikasi sebagai adsorben dari bagasse (ampas tebu). Modifikasi dilakukan dengan impregnasi $ZnCl_2$ untuk mengadsorpsi limbah cair yang mengandung ion $Fe(II)$ pada limbah batik. Variasi komposisi $ZnCl_2$ pada impregnasi adalah karbon aktif termodifikasi dengan rasio (KAT) : $ZnCl_2$ 1:0,5 dan 1:0,75 dengan waktu aktivasi yang berbeda yakni 60 dan 120 menit. KAT yang dibuat kemudian diukur kadar air dan abunya sebelum digunakan proses adsorpsi. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air karbon aktif termodifikasi dengan aktivasi lebih lama memiliki kadar air yang lebih tinggi dan kadar abu yang lebih tinggi dibanding karbon aktif termodifikasi dengan aktivasi lebih singkat. Selain itu nilai persen adsorpsi menggunakan karbon aktif termodifikasi (KAT): $ZnCl_2$ dengan rasio 1:0,75 memiliki nilai lebih tinggi dibanding yang KAT: $ZnCl_2$ dengan rasio 1:0,5. Hal ini disebabkan penambahan $ZnCl_2$ yang lebih banyak membuat rongga karbon aktif terbuka sehingga kemampuan adsorpsinya meningkat. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan baru tentang pembuatan karbon aktif termodifikasi $ZnCl_2$.

Kata kunci: adsorpsi, baggase (ampas tebu), ion besi(II), karbon aktif termodifikasi, $ZnCl_2$

PENDAHULUAN

Meningkatnya industri batik mengakibatkan meningkatnya limbah yang dihasilkan. Salah satu limbah batik yang mencemari lingkungan adalah limbah cair yang mengandung besi (Putra, D, Puji, & Suharyadi, 2014). Menurut KEPMENKES RI No.492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 19 April 2010 tentang persyaratan kualitas air

minum, kadar Fe dalam air minum yang diperbolehkan hanya 0,3 mg/L pada air minum yang telah tercemar oleh limbah cair tentu kadar logam yang terkandung melebihi ambang batas dari yang telah ditentukan (Menteri Kesehatan, 2010) . Salah satu cara pengolahan limbah cair adalah dengan proses adsorpsi. Proses adsorpsi dapat menurunkan kadar logam yang terlarut pada

limbah cair dengan cara menyerap logam-logam tersebut ke dalam permukaan adsorbennya (Sugita dan Wukirsari, 2009). Penurunan kadar logam besi (Fe) pada limbah batik menggunakan adsorben telah dilakukan oleh Putra, Puji dan Suharyadi (2014) bahwa penurunan kadar logam Fe menggunakan adsorben nanopartikel Fe_3O_4 terbesar terjadi akibat adanya pengaruh pH yang semakin tinggi dan pengadukan yang semakin lama. Penggunaan adsorben telah lama dilakukan, namun selama ini adsorben masih impor, sedangkan Indonesia memiliki kekayaan alam yang dapat digunakan untuk pembuatan adsorben. Adsorben dapat dibuat dari berbagai macam material, salah satunya adalah *bagasse* (ampas tebu) yang merupakan biomaterial. Keuntungan menggunakan biomaterial sebagai adsorben adalah mudah diregenerasi dan dapat digunakan kembali. Ampas tebu adalah hasil samping dari proses ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. dari proses ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. Selama ini pemanfaatan ampas tebu (*sugar cane bagasse*) yang dihasilkan masih terbatas untuk makanan ternak, bahan baku pembuatan pupuk (kompos), *pulp*, *particle board* dan untuk bahan bakar *boiler* di pabrik gula (Andaka, 2007).

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti bermaksud meningkatkan nilai manfaat *bagasse* (ampas tebu) yakni untuk pembuatan adsorben untuk penurunan logam berat dalam limbah cair. Penggunaan adsorben dari *bagasse* selain dapat diregenerasi, juga ramah lingkungan karena tidak meninggalkan residu yang membahayakan. Pemanfaatan adsorben dapat memberikan efisiensi yang maksimal apabila dilakukan modifikasi terhadap adsorben. Modifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menambahkan $ZnCl_2$ dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan adsorben sehingga kapasitas adsorpsinya meningkat. Salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi adalah lama waktu aktivasi, sehingga dalam penelitian ini dilakukan variasi lama waktu aktivasi.

Bagasse (Ampas Tebu) sebagai karbon aktif

Bagasse (ampas tebu) merupakan limbah berserat yang diperoleh dari hasil samping proses penggilingan tanaman tebu (*Saccharum officinarum*). Ampas ini sebagian besar mengandung bahan-bahan *lignoselulosa*. Berdasarkan data dari Pusat

Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu giling. Namun, sebanyak 60% dari ampas tebu tersebut dimanfaatkan oleh pabrik gula sebagai bahan bakar, bahan baku untuk kertas, bahan baku industri kanvas rem, industri jamur, dan lain-lain. Oleh karena itu diperkirakan sebanyak 45% dari ampas tebu tersebut belum dimanfaatkan (Husin, 2007). Besarnya jumlah *bagasse* yang belum dimanfaatkan mendorong para peneliti untuk mengembangkan potensi *bagasse* agar memiliki nilai ekonomi, salah satunya dimanfaatkan sebagai adsorben. Penggunaan sebagai adsorben ini dilakukan dengan mengubah *bagasse* menjadi karbon aktif. Karbon aktif adalah bahan berupa karbon bebas yang masing-masing berikatan secara kovalen atau arang yang telah dibuat dan diolah secara khusus melalui proses aktivasi, sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian mempunyai daya serap yang besar terhadap zat-zat lainnya, baik dalam fase cair maupun dalam fase gas. Dengan demikian, permukaan karbon aktif bersifat non-polar. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, dimana semakin kecil pori-pori karbon aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah.

Karbon aktif dibuat melalui proses pembakaran secara karbonisasi (aktifasi) dari semua bahan yang mengandung unsur karbon dalam tempat tertutup dan dioksidasi/diaktifasi dengan udara atau uap untuk menghilangkan hidrokarbon yang akan menghalangi/ mengganggu penyerapan zat organik. Aktifasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi.

Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapnya. Adsorpsi adalah penggumpalan dari adsorbat di atas permukaan adsorben, sedang absorpsi adalah penyerapan dari adsorbat ke dalam adsorben dimana disebut dengan fenomena sorption. Materi atau

partikel yang diadsorpsi disebut adsorbat, sedang bahan yang berfungsi sebagai pengadsorpsi disebut adsorben. Oscik (1982) secara umum mengklasifikasikan adsorpsi ke dalam dua kategori, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi jika reaksi antara adsorben dan adsorbat melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti ikatan hidrogen atau van der Waals. Pada proses ini molekul yang teradsorpsi mudah dilepas kembali dengan menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Zat yang teradsorpsi dapat membentuk beberapa lapisan tunggal dan kondisi kesetimbangan akan tercapai segera setelah adsorben bersentuhan dengan adsorbat. Panas adsorpsi yang menyertai adsorpsi fisika lebih rendah bila dibandingkan dengan panas adsorpsi yang terjadi pada adsorpsi kimia.

Pembuatan Karbon Aktif Termodifikasi

Bagasse yang diperoleh dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan dan dihaluskan. *Bagasse* yang sudah dihaluskan, diayak menggunakan ayakan 100 mesh lalu ditimbang dan direndam dalam larutan $ZnCl_2$ selama 1 jam dengan perbandingan impregnasi 1:1. Perbandingan impregnasi adalah berat *bagasse* dalam berat $ZnCl_2$. *Bagasse* yang telah diimpregnasi ditempatkan ke dalam *muffle furnace* dalam suhu $500^\circ C$ selama 60 menit. Setelah itu, dilakukan pencucian dengan asam, yaitu dengan larutan 3 M HCl untuk menghilangkan residu Zn dalam karbon aktif termodifikasi. Karbon aktif termodifikasi yang diperoleh, kembali dicuci dengan air panas, kemudian dicuci dengan air dingin. Terakhir, karbon aktif termodifikasi dikeringkan dalam oven pada suhu $120^\circ C$ (Fabon, Legaspi, Leyesa, dan Macawile, 2013).

Proses Adsorpsi

Larutan sampel limbah batik 50 mL ditempatkan ke dalam erlenmeyer. Kemudian menambahkan karbon aktif termodifikasi dengan waktu aktivasi 60 menit dan perbandingan $ZnCl_2$ 1:1 g sebanyak 1 g. Mengaduk campuran tersebut dengan *shaker* dengan variasi waktu: 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Mengambil sampel yang telakukan proses adsorpsi kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Analisis sampel menggunakan reagen 1,10-ortofenantroline dan hidrosilamin-HCl. Mengulangi langkah tersebut dengan memvariasikan karbon aktif dengan waktu

aktivasi 60 menit pada rasio impregnasi 1:0,75 dan waktu aktivasi 120 menit dengan rasio impregnasi 1:1 dan 1: 0,75.

Efisiensi penghilangan kadar ion besi dalam sampel dihitung melalui Persamaan 1 (Kundari, Susanto, dan Prihatiningsih, 2010) dan (Bahadur dan Paramatma, 2014).

$$\% \text{ Efisiensi penghilangan Fe(II)} = \frac{c_i - c_e}{c_i} \times 100\% \quad (1)$$

Jumlah adsorbat yang terserap dalam mg/g pada kesetimbangan dihitung dengan Persamaan 2.

$$q = \frac{(c_i - c_e)}{W} \times V \text{ (mg / g)} \quad (2)$$

dengan:

V = volum adsorbat dalam air (L)

W = berat adsorben (g)

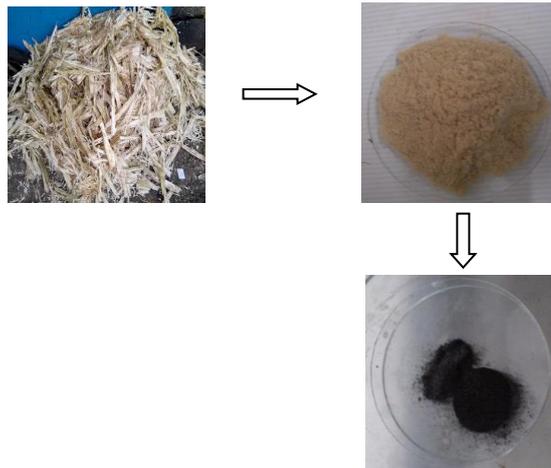
c_i = konsentrasi awal besi mg/L

c_e = konsentrasi akhir/setimbang besi mg/L

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Karbon Aktif Termodifikasi sebagai Adsorben

Pembuatan karbon aktif termodifikasi dilakukan dengan impregnasi (pengembangan) $ZnCl_2$ ke dalam *bagasse*. Penggunaan $ZnCl_2$ sebagai agen yang mencegah pengaktifan pembentukan karbon aktif yang menghambat pori-pori karbon aktif, sehingga diharapkan kemampuan adsorpsi bertambah. Penghilangan sisa Zn dilakukan dengan mencuci karbon aktif menggunakan HCl 3 M, kemudian dilanjutkan pencucian menggunakan air panas dan dingin. Aktivasi dilakukan secara fisika yakni aktivasi pada suhu $500^\circ C$. Aktivasi dilakukan selama 60 menit dan 120 menit. Perbedaan waktu aktivasi memberikan perbedaan rendemen (persentase karbon aktif yang dihasilkan). Semakin lama waktu aktivasi, semakin kecil rendemen yang dihasilkan. Perbedaan waktu aktivasi menghasilkan adsorben dengan kadar air serta kadar abu yang berbeda, semakin lama aktivasi maka kadar air yang dihasilkan semakin kecil. Pembuatan adsorben ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Pembuatan karbon aktif termodifikasi

Tabel 1. Sifat karbon aktif termodifikasi $ZnCl_2$

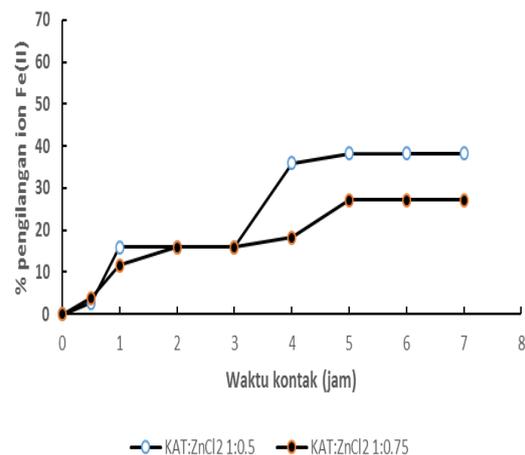
Karbon Aktif Termodifikasi dengan variasi waktu aktivasi	Perbandingan $ZnCl_2$	Kadar Air	Kadar Abu
60 menit	1:0,5	35%	55,25%
	1:0,75	39%	53,33%
120 menit	1:0,5	25%	84,87%
	1:0,075	27%	82,43%

Berdasarkan penelitian, karbon aktif dengan waktu aktivasi yang lebih lama menghasilkan karbon aktif dengan kadar air yang lebih rendah namun memiliki kadar abu yang lebih tinggi. Semakin lama waktu aktivasi, penurunan rendemen sejalan dengan penurunan kadar karbon. Penurunan rendemen dan kadar karbon dengan meningkatnya waktu aktivasi dikonfirmasi oleh meningkatnya kadar abu. Secara fisik, tidak terdapat perbedaan antara karbon aktif termodifikasi dengan waktu aktivasi 60 menit dan 120 menit.

Adsorpsi Besi dalam Sampel

Proses adsorpsi dilakukan dengan mengkontakkan 0,5 g adsorben karbon aktif termodifikasi (KAT) dengan limbah batik yang telah terukur kadar besinya yakni 50,41 ppm. Pada tahap penelitian ini mempelajari pengaruh waktu interaksi larutan logam $Fe(II)$ dengan adsorben karbon aktif termodifikasi terhadap jumlah ion $Fe(II)$ yang teradsorpsi pada karbon aktif dan menentukan laju adsorpsinya. Waktu interaksi yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi digunakan sebagai ukuran kecepatan laju reaksi. Semakin singkat waktu yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi, semakin tinggi laju reaksinya.

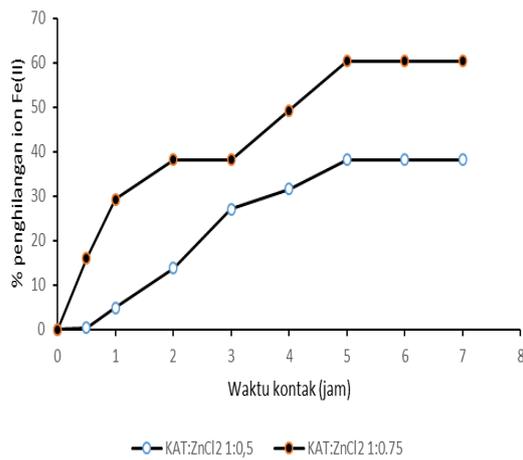
Hubungan waktu kontak dengan efisiensi penghilangan ion $Fe(II)$ menggunakan karbon aktif dengan lama aktivasi 60 menit dan 120 menit masing-masing ditunjukkan oleh Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Efisiensi penghilangan besi (II) menggunakan karbon aktif termodifikasi dengan waktu aktivasi 60 menit.

Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa karbon aktif dengan waktu aktivasi 60 menit dengan modifikasi rasio impregnasi 1:0,75 menghasilkan efisiensi penghilangan lebih rendah dibandingkan yang dengan modifikasi rasio impregnasi 1:0,5. Hal ini berbeda dengan karbon aktif dengan waktu aktivasi 120 menit, disebabkan karena waktu aktivasi 60 menit tidak mampu membuka pori karbon

aktif sepenuhnya sehingga $ZnCl_2$ yang diimbangkan untuk membantu membuka pori hanya menempel saja dan menyumbat pori. Sisa $ZnCl_2$ yang tidak terlepas seluruhnya saat pencucian mengakibatkan banyak pori karbon aktif yang tersumbat. Dengan demikian menghalangi proses adsorpsi dan menghasilkan efisiensi yang rendah. Pada menit-menit mendekati waktu kesetimbangan yaitu waktu kontak 4 jam, kondisi sudah mulai jenuh sehingga laju adsorpsi logam besi pada karbon aktif mulai menurun dan akhirnya relatif tidak mengalami partambahan.



Gambar 3. Efisiensi penghilangan besi (II) menggunakan karbon aktif dengan waktu aktivasi 120 menit

Gambar 3 memperlihatkan bahwa efisiensi penghilangan logam $Fe(II)$ dengan waktu aktivasi 120 menit berbeda dengan waktu aktivasi 60 menit. Karbon aktif dengan aktivasi 120 menit dan modifikasi $ZnCl_2$ mampu membuka pori-pori karbon aktif lebih banyak sehingga efisiensi penghilangannya lebih besar. Untuk waktu kontak 2 jam dan 3 jam, pemisahan menggunakan karbon aktif termodifikasi dengan rasio $ZnCl_2$ 1:0,75 tidak terjadi perubahan, karena banyaknya partikel besi yang menumpuk di permukaan pori tetapi setelah ada yang masuk ke dalam pori, kenaikan efisiensinya meningkat tajam.

Kinetika Adsorpsi $Fe(II)$

Penelitian ini mempelajari pengaruh waktu interaksi larutan logam $Fe(II)$ dengan adsorben karbon aktif termodifikasi (KAT) dengan variasi $ZnCl_2$ terhadap jumlah logam yang teradsorpsi pada KAT dan menentukan laju adsorpsinya. Adsorpsi dilakukan secara isotermis yaitu adsorpsi pada temperatur konstan $25\text{ }^{\circ}C$. Waktu interaksi yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi digunakan sebagai ukuran kecepatan laju reaksi. Semakin singkat waktu yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan adsorpsi, semakin tinggi laju reaksi.

Kajian kinetika adsorpsi mengacu pada model kinetika adsorpsi ion tunggal dari Santosa. Rumusan model kinetika yang digunakan oleh Santosa didasarkan pada konsentrasi adsorbat dalam larutan dengan asumsi bahwa adsorpsi tersebut merupakan adsorpsi order satu yang mencapai kesetimbangan (Santosa, Narsito, dan Lesbani, 2003). Kinetika Santosa dirumuskan dengan Persamaan 3.

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_e}\right) = k \frac{t}{C_e} + K \quad (3)$$

Hasil perhitungan kinetika dengan menggunakan perhitungan kinetika Santosa, orde 1, orde 2 dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan nilai regresi yang mendekati nilai 1 pada Tabel 2 diketahui bahwa pada proses adsorpsi logam $Fe(II)$ menggunakan KAT: $ZnCl_2$ 1:0,5 dengan aktivasi 60 menit mengikuti kinetika orde 2 sedangkan menggunakan KAT: $ZnCl_2$ 1:0,5 dengan aktivasi 120 menit mengikuti kinetika orde 1. Proses adsorpsi logam $Fe(II)$ menggunakan KAT: $ZnCl_2$ 1:0,75 dengan aktivasi 60 menit mengikuti kinetika orde 1 sedangkan menggunakan KAT: $ZnCl_2$ 1:0,75 dengan aktivasi 120 menit mengikuti kinetika orde 1.

Tabel 2. Parameter kinetika adsorpsi logam $Fe(II)$ dihitung menggunakan kinetika adsorpsi santosa.

Metode Perhitungan	Parameter	KAT:ZnCl ₂ 1:0,5		KAT:ZnCl ₂ 1:0,75	
		Aktivasi 60 menit	Aktivasi 120 menit	Aktivasi 60 menit	Aktivasi 120 menit
Santosa	R ²	0,8802	0,8495	0,9243	0,9800
	k(menit ⁻¹)(10 ⁻³)	256,735	0,0050	0,003	649.643
	K (mol/L) ⁻¹	1.2400	4,2082	4,876	-4.915
Orde 1	R ²	0,7760	0,9495	0,823	0,9042
	k mM ⁻¹ min ⁻¹ (10 ⁻³)	0,0015	0,0017	0,7	0,23
Orde 2	R ²	0,7791	0,9432	0,8068	0,8658
	k mM ⁻¹ min ⁻¹	0,3398	2.514	0,961	0,1797

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan kadar air karbon aktif dengan aktivasi lebih lama memiliki kadar air yang lebih tinggi dan kadar abu yang lebih tinggi dibanding karbon aktif dengan aktivasi lebih singkat. Selain itu nilai persen adsorpsi menggunakan karbon aktif termodifikasi (KAT) : ZnCl₂ 1:0,75 lebih tinggi dibanding yang KAT:ZnCl₂ 1:0,5. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan baru tentang pembuatan karbon aktif termodifikasi ZnCl₂.

DAFTAR PUSTAKA

- Andaka, G., Kimia, J. T., & Industri, F. T. (2007). Hidrolisis ampas tebu menjadi furfural dengan katalisator asam sulfat.
- Bahadur, K. D., & Paramatma, M. (2014). Adsorptive Removal of Cr (VI) from Aqueous Solution by Sugarcane Biomass. *Research Journal of Chemical Sciences*, 4(5), 32–40.
- Fabon, M. B., Legaspi, G. J., Leyesa, K., & Macawile, M. C. (2013). Removal of Basic Dye in Water Matrix Using Activated Carbon from Sugarcane Bagasse (pp. 8–11). Bangkok: International Conference on Innovations in Engineering and Technology.
- Husin, 2007, Analisis Serat Bagas, (<http://www.free.vlsm.org/>, diakses Tanggal 7 Mei 2017)
- Kundari, N. A., Susanto, A., & Prihatiningsih, M. C. (2010). Adsorpsi Fe dan Mn dalam Limbah Cair dengan Zeolit Alam (pp. 705–710). Yogyakarta: SEMINAR NASIONAL VI SDM TEKNOLOGI NUKLIR.
- Menteri Kesehatan, P. (2010). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Putra, D. E., Puji, F., & Suharyadi, E. (2014). Studi Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) pada Limbah Batik dengan Sistem Purifikasi Menggunakan Absorben Nanopartikel Magnetic. *Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia Sekip Utara PO BOX BLS.21 Yogyakarta 55281, Indonesia*, (April), 250–252.
- Rukaesih, A. 2004. *Kimia Lingkungan*. ANDI. Yogyakarta.
- Santosa, S. J., Narsito, & Lesbani, A. (2003). The Determination of Active Site, Capacity, Energy and Rate Constant on the Adsorption of Zn(II) and Cd(II) on Chitin. *Journal of Ion Exchange*, 14(Supplement), 89–92. https://doi.org/10.5182/jaie.14.Supplement_89
- Sugita, P., & Wukirsari, T. (2009). *Kitosan Sumber Biomaterial Masa Depan*. Bogor: IPB Press.