

Reduksi Ion Cu(II) Menggunakan Karbon Aktif dari Sekam Padi Teraktivasi Fisika dan Kimia

Eka Purnawan¹, Abrar Muslim^{2*}, Nasrullah Razali³, Muhammad Zaki⁴, Hesti Meilina⁵, Azwar⁶

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Magister Teknik Kimia

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

*Koresponden email: abrar.muslim@che.unsyiah.ac.id

Diterima: 27 Juli 2020

Disetujui: 6 Agustus 2020

Abstract

This research proposed a method to produce activated carbon from rice husk by carbonation process, physical activation and chemical activation using NaOH. The performance of activated carbon was tested by batch experiments in which the adsorption system contained 1 g of rice husk activated carbon in 100 mL of artificial wastewater with initial concentration of Cu(II) ion being 148.26 mg/L, initial pH 6, at 27 °C and 1 atm to determine the efficiency of reducing Cu(II) ion over the contact time and presence of stirring on chemical activation. The results showed that the efficiency of reducing Cu(II) ion by rice husk activated carbon increased exponentially with increasing contact time with a maximum value of 74.33% at 90 minutes of contact time. The results also showed that stirring on chemical activation increased the efficiency of Cu(II) ion reduction by 14.94%. Adsorption kinetics studies showed that Cu(II) ion reduction followed the pseudo-second order adsorption equation with the adsorption capacity of 10.18 mg/g and adsorption rate constant of 0.0013 g/mg.min for rice husk activated carbon without stirring in the chemical activation. Stirring in the chemical activation increased the capacity and rate of adsorption constant to 12.07 mg/g and 0.0052 g/mg.min, respectively.

Keywords: *Activated carbon, rice husk, reduction efficiency, Cu(II) ions, adsorption kinetics, adsorption capacity, adsorption rate*

Abstrak

Penelitian ini mengusulkan metode memproduksi karbon aktif dari sekam padi dengan proses karbonasi, aktivasi fisika dan aktivasi kimia menggunakan NaOH. Unjuk kerja karbon aktif diuji dengan percobaan secara *batch* dimana sistem adsorpsi mengandung 1 g karbon aktif sekam padi di dalam 100 ml limbah cair artifisial dengan konsentrasi awal ion Cu(II) sebesar 148,26 mg/L, pH awal 6 pada suhu 27 °C dan tekanan 1 atm untuk menentukan efisiensi reduksi ion Cu(II) terhadap waktu kontak dan keberadaan pengadukan pada aktivasi kimia. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi reduksi ion Cu(II) oleh karbon aktif sekam padi naik secara eksponensial seiring dengan pertambahan waktu kontak dengan nilai maksimum sebesar 74,33 % pada waktu kontak 90 menit. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pengadukan pada aktivasi kimia menaikkan efisiensi reduksi ion Cu(II) sebesar 14,94 %. Studi kinetika adsorpsi menunjukkan bahwa reduksi ion Cu(II) mengikuti persamaan kinetika adsorpsi pseudo-orde dua dengan kapasitas adsorpsi sebesar 10,18 mg/g dan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,0013 g/mg.menit untuk karbon aktif sekam padi tanpa pengadukan pada aktivasi kimia. Pengadukan pada aktivasi kimia meningkat kapasitas dan konstanta laju adsorpsi menjadi 12,07 mg/g dan 0,0052 g/mg.menit secara berturut-turut.

Kata kunci: *Karbon aktif, sekam padi, efisiensi reduksi, ion Cu(II), kinetika adsorpsi, kapasitas adsorpsi, laju adsorpsi*

1. Pendahuluan

Logam berat adalah polutan berbahaya bagi lingkungan karena polutan tidak dapat terurai secara biodegradasi dan dapat terakumulasi secara biologis dalam rantai makanan. Logam berat dapat ditemukan dalam aliran air limbah industri dari proses industri termasuk proses pengolahan makanan dan hasil pertanian [1], pemurnian minyak bumi, operasi tambang dan ekstraksi logam [2] dan bahkan dari laboratorium-laboratorium dasar dan penelitian pada lembaga pendidikan tinggi [3]. Dari berbagai logam berat, tembaga adalah salah satu logam berat yang berbahaya dalam limbah cair dari industri pertambangan dan kimia [4]. Ion Cu(II) dapat menumpuk dalam jaringan tubuh manusia, dan menyebabkan efek yang sangat buruk pada sistem organ biologis dan tubuh manusia [5-6]. Oleh karena

itu, perlu dilakukan reduksi ion Cu(II) dari air limbah yang terkontaminasi tembaga sebelum dibuang ke lingkungan.

Beberapa proses telah dikembangkan dan diusulkan oleh peneliti-peneliti untuk mereduksi logam berat dari limbah cair anorganik, adsorpsi telah dipilih sebagai metode reduksi logam berat yang lebih ekonomis dan efektif [7-8]. Bahan yang umum digunakan untuk mereduksi logam berat adalah karbon aktif karena karbon aktif memiliki porositasnya yang tinggi dengan luas permukaan yang besar 500-3.000 m² [9-10]. Penelitian-penelitian telah dilakukan untuk memproduksi karbon aktif dari limbah padat berbahan lignoselulosa untuk menjawab kebutuhan karbon aktif yang terus meningkat. Karbon aktif telah dikembangkan dalam mereduksi ion Cu(II) diantaranya yaitu karbon aktif dari kulit hazelnut [11], kulit kemiri [12], kulit singkong [13], biji kurma Tunisia [14], kulit dan tongkol jagung [15], kerucut pinus Australia [16], kulit jengkol [17] dan sekam padi [18-20]. Karbon aktif dari sekam padi pada penelitian tersebut [18-20] diproduksi dengan proses karbonasi dan aktivasi secara fisika pada suhu 300-500 °C [18], impregnasi menggunakan KOH dan dilanjutkan dengan karbonasi dan aktivasi secara fisika pada suhu 650 °C [19], dan diencerkan lalu dikalsinasi pada suhu 500 °C [20].

Pada penelitian ini, sekam padi digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Sekam padi yang umumnya mengandung selulosa (35%), hemiselulosa (25%), lignin (20%), abu (17% silika) dan protein kasar (3%) [21] merupakan limbah padat lignoselulosa yang menjanjikan sebagai bahan baku karbon aktif karena produksi global sekam padi diprediksikan meningkat sejak total produksi dunia tahunan sekitar 0,2 miliar ton pada 2017 [22].

Tujuan penelitian ini adalah untuk memproduksi karbon aktif dari sekam padi dengan metode yang berbeda dari produksi karbon aktif dari sekam padi sebelumnya [18-20], dan memperoleh nilai efisiensi reduksi ion Cu(II) menggunakan karbon aktif tersebut. Pada penelitian ini, pertama dilakukan proses karbonasi, aktivasi fisika dan diakhiri dengan aktivasi kimia menggunakan aktivator NaOH. Karena penelitian ini merupakan kajian awal reduksi ion Cu(II) menggunakan karbon aktif dari sekam padi teraktivasi fisika dan kimia maka nilai efisiensi reduksi ion Cu(II) hanya ditinjau terhadap variabel bebas waktu kontak dan pengaruh pengadukan pada aktivasi kimia saja. Selain itu, kapasitas dan laju adsorpsi dari reduksi ion Cu(II) ditentukan dengan menggunakan persamaan kinetika adsorpsi.

2. Metodologi

2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku karbon aktif, sekam padi diambil dari tempat penggilingan padi di Desa Cot Lhe-Lhe, Kecamatan Seunagan, Kabupaten Nagan, Provinsi Aceh, Indonesia. Sekam padi dibersihkan dari kotoran dengan menggunakan air PDAM, dan setelah bersih dibilas dengan menggunakan aquades. Sekam padi sebanyak 200 g selanjutnya disaring dan dikeringkan dengan menggunakan pengering oven (Memmert, NN ST342M, buatan Jerman Barat) pada 120°C selama 3 jam (sampai massa sekam padi menjadi konstan). Bahan yang sudah kering ini, kemudian pirolisis (karbonasi tanpa oksigen dengan injeksi gas N₂ 5 ml/menit) pada 500 °C di dalam satu unit *tube furnace* (TF 120, Human Lab Inc., buatan Korea). Metode karbonasi ini pernah dipakai dalam memproduksi karbon aktif dari tangkai buah pinang [23].

Setelah karbon sekam padi mendingin sampai mencapai suhu ruang, produk dari *tube furnace* ini dihaluskan dengan menggunakan *ball mill* dan diayak untuk mendapatkan ukuran 50-80 mesh. Setelah karbon sekam padi diaktivasi secara fisika, kemudian dilakukan aktivasi secara kimia dengan 500 ml NaOH 0,5 M di dalam *beaker glass* 1 L selama 1 jam dengan pengadukan 150 rpm menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur ruang (27 °C ± 1 °C). Setelah aktivasi kimia karbon aktif dicuci beberapa kali dengan air PDAM sehingga air sisa pencucian mencapai pH netral, dan pencucian terakhir dengan aquades. Karbon aktif sekam padi disaring dengan menggunakan *vacuum filter* dan dikeringkan didalam *oven* pada temperatur 110°C selama 5 jam sampai massanya konstan untuk menghilangkan air sisa pencucian. Produk dari prosedur ini kemudian dimasukkan ke dalam botol berpenutup dan diberi label sebagai karbon aktif sekam padi tanpa pengadukan (KASP-TP). Prosedur di atas diulang dengan cara tanpa pengadukan, yaitu dengan perendaman karbon sekam padi dengan 500 ml NaOH 0,5 M di dalam *beaker glass* 1 L selama 1 jam pada temperatur ruang (27 °C ± 1 °C). Produk dari prosedur kedua kemudian dimasukkan ke dalam botol berpenutup dan diberi label sebagai karbon aktif sekam padi dengan pengadukan (KASP-TP).

2.2 Uji Reduksi Ion Cu(II)

Uji reduksi ion Cu(II) dilakukan dengan proses adsorpsi yaitu dengan melakukan percobaan secara *batch* dimana 1 g KASP-DP dikontakkan dengan 100 mL limbah cair artifisial mengandung ion Cu(II) pada konsentrasi awal 148,26 mg/L. Stok 1 L limbah cair artifisial ini dibuat dari CuSO₄·5H₂O (99%

murni, Aldrich) dengan proses pengenceran, konsentrasi awal ion Cu(II) di dalam larutan uji ditentukan dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS, Shimadzu AA 6300, Jepang) [16-17]. Uji reduksi ion Cu(II) ini dilakukan dengan kecepatan pengadukan magnetik 100 rpm dengan pH awal larutan ion Cu(II) yang diset 6 pada suhu ruang ($27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) dan tekanan 1 atm. Sampel diambil sebanyak 2 mL dengan menggunakan *adjustable volume pipette* pada waktu kontak 0, 15, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit. Masing-masing sampel diencerkan dengan 18 mL aquades di dalam *vial* dan kemudian disaring dengan menggunakan *syringe filter*. Sampel-sampel yang telah diencerkan kemudian dianalisa konsentrasi ion Cu(II) di dalam larutan uji dengan menggunakan AAS, dan konsentrasi ion Cu(II) di dalam larutan sebenarnya pada masing-masing waktu kontak dihitung kembali yaitu membagi konsentrasi ion Cu(II) hasil *reading* AAS dengan angka faktor pengenceran 10. Prosedur uji reduksi ion Cu(II) di atas diulang kembali untuk 1 g KASP-TP.

Efisiensi reduksi ion Cu(II) untuk setiap waktu kontak dihitung dengan menggunakan Persamaan (1), sebagai berikut:

$$\varepsilon_{t=n} = \frac{(C_{t=0} - C_{t=n}) \times 100\%}{C_{t=0}} \quad (1)$$

dimana $\varepsilon_{t=n}$ (%) adalah nilai efisiensi reduksi ion Cu(II) pada setiap waktu kontak t (menit), $C_{t=0}$ (mg/L) menunjukkan konsentrasi awal (sebelum adsorpsi, $t=0$ menit) ion Cu(II) di dalam larutan uji, dan $C_{t=n}$ (mg/L) adalah konsentrasi awal (sebelum adsorpsi, $t=0$ menit) ion Cu(II) di dalam larutan uji pada setiap waktu kontak.

Kapasitas dan laju adsorpsi dari reduksi ion Cu(II) ditentukan dengan menggunakan persamaan kinetika adsorpsi pseudo-orde satu model Lagergren [23] yang telah dilinearkan (Persamaan (2)) dan kinetika pseudo-orde dua model Ho et al. [24] yang telah dilinearkan (Persamaan (3)), sebagai berikut [16-17]:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_L t}{2.303} \right) \quad (2)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_H q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

dimana q_t (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi ion Cu(II) dari karbon aktif sekam padi pada setiap waktu kontak, q_e (mg/g) menunjukkan kapasitas adsorpsi dari reduksi ion Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi pada setiap waktu equilibrium, k_L (/menit) adalah konstanta laju adsorpsi pseudo-orde pertama, dan k_H (g/mg.menit) adalah konstanta laju adsorpsi pseudo-orde kedua. Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) dari karbon aktif sekam padi pada setiap waktu kontak (q_t) dapat dinotasikan sebagai $q_{t=n}$ (mg/g), dan nilai $q_{t=n}$ dapat dihitung dengan Persamaan (4), sebagai berikut:

$$q_{t=n} = \frac{(C_{t=0} - C_{t=n}) V_{t=n}}{m_{AC}} \quad (4)$$

dimana $V_{t=n}$ (L) adalah volume larutan uji pada saat pengambilan sampel dengan waktu kontak $t=n$, dan m_{AC} (g) dinotasikan sebagai massa karbon aktif sekam padi.

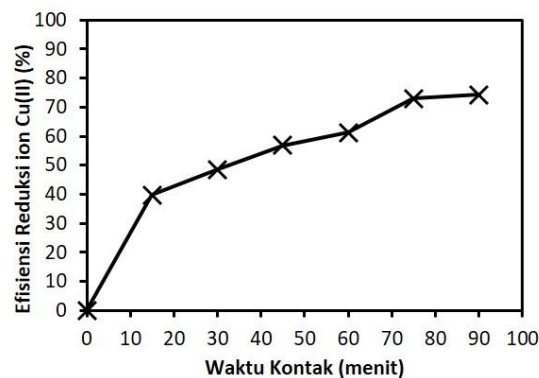
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi reduksi ion Cu(II)

Gambar 1 menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi reduksi ion Cu(II) (menggunakan Persamaan (1)) dengan menggunakan KASP-DP. Dapat dilihat dengan jelas bahwa untuk 15 menit waktu kontak pertama, efisiensi reduksi ion Cu(II) naik secara tajam dari 0 % ke 39,78 %. Kemudian efisiensi reduksi ion Cu(II) naik secara bertahap dari 39,78 % ke 48,48 %, 56,78 % dan 61,27 % pada waktu kontak 30 menit, 40 menit dan 60 menit secara berturut-turut. Setelah itu, efisiensi reduksi ion Cu(II) naik sedikit ke 72,93 % dan akhirnya tidak berubah jauh yaitu 74,33 % pada waktu kontak 90

menit. Tren kenaikan efisiensi reduksi ion Cu(II) terhadap waktu ini adalah wajar seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya tentang reduksi ion logam berat dengan menggunakan sekam padi teraktivasi [17, 26], dimana ion adsorbat yang teradsorpsi ke permukaan adsorben akan bertambah seiring dengan waktu kontak sampai pada waktu equilibrium dimana tidak ada lagi ion adsorbat yang teradsorpsi ke permukaan adsorben.

Pada saat waktu equilibrium ini, kemungkinan ion adsorbat di dalam fasa liquid telah habis teradsorpsi, atau walaupun ion adsorbat di dalam fasa liquid belum habis teradsorpsi tetapi *active site* pada permukaan adsorbat telah habis sehingga tidak mampu lagi mengadsorpsi adsorbat. Pada penelitian reduksi ion Cu(II) dengan menggunakan KASP-DP (**Gambar 1**), kondisi kedua yang mungkin terjadi. Secara umum, tren pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi reduksi ion Cu(II) dengan menggunakan KASP-DP adalah pertambahan secara eksponensial, dan waktu equilibrium yang didapat adalah 75 menit.

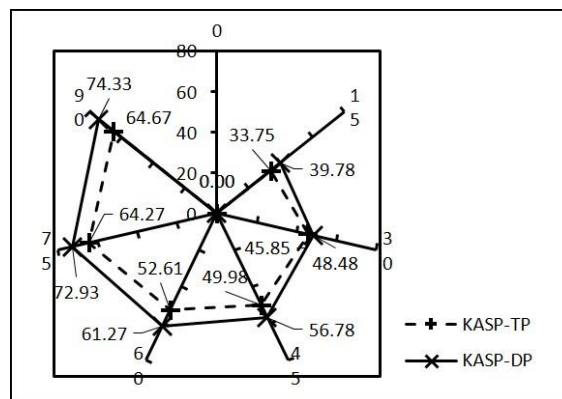


Gambar 1. Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi reduksi ion Cu(II)

3.2 Pengaruh pengadukan pada aktivasi kimia terhadap efisiensi reduksi ion Cu(II)

Gambar 2 menunjukkan pengaruh pengadukan pada aktivasi kimia terhadap efisiensi reduksi ion Cu(II) dimana sumbu vertikal menunjukkan waktu kontak, dan jari-jari menunjukkan nilai efisiensi reduksi ion Cu(II). Seperti ditunjukkan dengan jelas pada jari-jari grafik radar tersebut, jari-jari grafik KASP-DP selalu lebih panjang dari jari-jari grafik KASP-TP untuk setiap waktu kontak adsorpsi. Selisih nilai efisiensi reduksi ion Cu(II) terlihat semakin besar pada saat waktu kontak dari 45 menit sampai dengan 90 menit, dimana efisiensi reduksi ion Cu(II) sebesar 49,98 % dan 64,47 % pada waktu kontak 45 menit dan 90 menit secara berturut-turut untuk KASP-TP, sedangkan efisiensi reduksi ion Cu(II) sebesar 56,78 % dan 74,33 % untuk waktu kontak tersebut secara berturut-turut yaitu naik sebesar 14,94 %. Hal ini bermakna bahwa pengaruh pengadukan sangat berarti dalam aktivasi kimia dimana pengadukan tersebut memperbesar nilai reduksi ion Cu(II) dengan menggunakan karbon aktif sekam padi. Hal ini didukung oleh penelitian-penelitian sebelumnya tentang interaksi multi fasa [27-30] dimana transfer massa pada fasa padat-cair semakin besar dan cepat dengan adanya pengadukan.

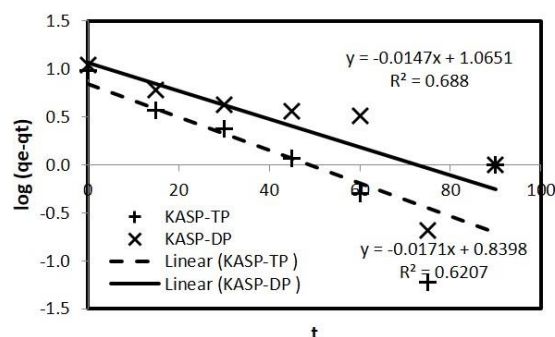
Dalam hal aktivasi karbon aktif dengan larutan NaOH, fasa padat yaitu karbon sekam padi, fasa liquid yaitu senyawa NaOH lebih banyak tertransfer pada partikel karbon sekam padi pada pengadukan dibandingkan dengan perendaman saja. Akibatnya senyawa NaOH yang merupakan senyawa basa kuat dapat mengangkat zat pengotor dan senyawa *volatile matter* lebih banyak dari permukaan karbon sekam padi dibandingkan dengan perendaman saja. Dengan demikian luas permukaan lebih besar pada KASP-DP dibandingkan KASP-TP sehingga efisiensi reduksi ion Cu(II) pada KASP-DP lebih besar dari pada efisiensi reduksi ion Cu(II) pada KASP-TP untuk setiap waktu kontak, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Ekspektasi ini didukung dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya terkait penggunaan aktivator NaOH pada aktivasi kimia karbon aktif [31-32].



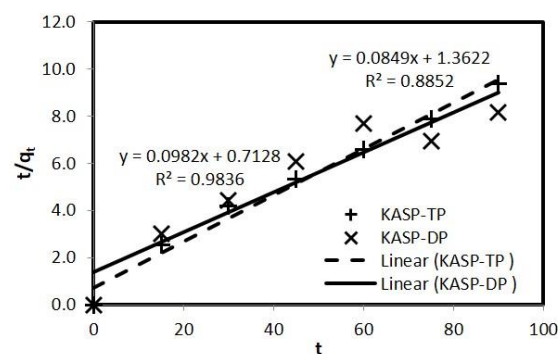
Gambar 2. Pengaruh pengadukan pada aktivasi kimia terhadap efisiensi reduksi ion Cu(II)

3.3 Kapasitas dan Laju Adsorpsi pada Reduksi Ion Cu(II)

Nilai kapasitas dan laju adsorpsi dari reduksi Ion Cu(II) didapat dari *slope* dan *intercept* regresi linear persamaan kinetika adsorpsi pada reduksi ion Cu(II) menggunakan KASP-DP and KASP-TP yaitu Persamaan (2) atau Persamaan (3) dengan melihat kecenderungan persamaan kinetika mana yang lebih sesuai. Dari nilai koefisien korelasi R^2 pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**, dapat disimpulkan bahwa kinetika adsorpsi pada reduksi ion Cu(II) menggunakan KASP-DP and KASP-TP mengikuti persamaan kinetika adsorpsi pseudo-orde dua dimana nilai R^2 jauh lebih besar mendekati 1 dibandingkan dengan persamaan kinetika adsorpsi pseudo-orde satu. Hal ini menerangkan bahwa terdapat 2 (dua) *active site* yang tersedia pada KASP-DP maupun pada KASP-TP untuk mengadsorpsi setiap 1 (satu) ion Cu(II) [33]. Hal ini juga berarti bahwa reduksi ion Cu(II) terjadi diakibatkan oleh adsorpsi secara fisika dimana terbentuk multilayer molekul Cu(II) pada permukaan karbon aktif [17, 34-35] dikarenakan adanya gaya *Van der Waal*, bukan disebabkan oleh ikatan kimia [36].



Gambar 3. Plot linear kinetika adsorpsi pseudo-orde satu reduksi Ion Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi



Gambar 4. Plot linear kinetika adsorpsi pseudo-orde dua reduksi Ion Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi

Dari nilai *slope* dan *intercept* regresi linear pada **Gambar 4**, didapat nilai kapasitas adsorpsi dari reduksi ion Cu(II) dengan KASP-TP sebesar 10,18 mg/g dengan nilai konstanta laju adsorpsi sebesar 0,0013 g/mg.menit, dan untuk KASP-DP sebesar 12,07 mg/g dengan nilai konstanta laju adsorpsi sebesar

0,0052 g/mg.menit. Seperti disimpulkan pada pembahasan pengaruh pengadukan terhadap nilai efisiensi reduksi ion Cu(II), maka hasil perhitungan kinetika adsorpsi juga menunjukkan tren yang sama bahwa pengadukan pada aktivasi kimia menggunakan NaOH dapat memperbesar kapasitas adsorpsi ion Cu(II) sehingga secara otomatis memperbesar nilai efisiensi reduksi ion Cu(II).

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil dalam memproduksi karbon aktif dari sekam padi. Metode proses karbonasi, aktivasi fisika dan diakhiri dengan aktivasi kimia menggunakan *activator* NaOH yang diusulkan dapat menghasilkan karbon aktif sekam padi dengan efisiensi reduksi ion Cu(II) maksimum sebesar 74,33 % pada waktu kontak 90 menit dengan tren kenaikan secara eksponensial terhadap waktu kontak. Hasil juga menunjukkan bahwa efisiensi reduksi ion Cu(II) naik sebesar 14,94 % ketika dilakukan pengadukan pada aktivasi kimia. Kinetika adsorpsi dari reduksi ion Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi mengikuti persamaan kinetika adsorpsi pseudo-orde dua. Kapasitas adsorpsi hasil perhitungan didapat sebesar 10,18 mg/g dengan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,0013 g/mg.menit untuk karbon aktif sekam padi tanpa pengadukan pada aktivasi kimia. Kapasitas adsorpsi dan konstanta laju adsorpsi meningkat ketika pengadukan dilakukan, dimana nilainya menjadi 12,07 mg/g dan 0,0052 g/mg.menit secara berturut-turut.

5. Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala atas dukungan teknis dalam pelaksanaan penelitian ini. Para penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Syiah Kuala khususnya Laboratorium Instrumentasi dalam melakukan analisa konsentrasi ion Cu(II) pada sampel-sampel yang diberikan dengan menggunakan AAS.

7. References

- [1] M. Bala, R. A. Shehu, M. Lawal, "Determination of the level of some heavy metals in water collected from two pollution - Prone irrigation areas around Kano Metropolis," *J. Pure Appl. Sci.* vol. 1 no. 1, pp. 6–38, 2008.
- [2] S. J. Hawkes, "What is a heavy metal?" *J. Chem. Educ.* vol.74 no. 11, pp. 1374–1380, 1997.
- [3] E. Munaf, T. Takeuchi, "Montoring of university effluents. In; Hazardous Waste Control in Research and Education," *Korenaga T., Tsukube H., Shinoda S. & I. Nakamura*, eds. Boca Raton, FL: CRC Press, 1994.
- [4] M. Minamisawa, H. Minamisawa, S. Yoshida, "Adsorption behavior of heavy metals on biomaterials." *J. Agr. Food Chem.* vol. 52 no. 18, pp. 5606–5611, 2004.
- [5] T. Theophanides, J. Anastassopoulou, "Copper and carcinogenesis," *J. Crit. Rev. Oncol./Hematol.* vol. 42 no. 1, pp. 57–64, 2002.
- [6] Kandah, I. Munther, A. Fahmi, Abu Al-Rub, Naser Al-Dabaybeh, "The aqueous adsorption of copper and cadmium ions onto sheep manure," *Adsorp. Sci. Technol.* vol. 21, no. 6, pp. 501–509, 2003.
- [7] H. Eccles, "Treatment of metal-contaminated wastes: why select a biological process?" *Trends Biotechnol.* vol. 17 no. 12, pp. 462–465, 1999.
- [8] Leung, W. Chung, M.F. Wong, Hong Chua, W. Lo, P. H. F. Yu, C. K. Leung, "Removal and recovery of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge treating industrial effluents and municipal wastewater," *Water Sci. Technol.* vol. 41 no. 12, pp. 233–240, 2000.
- [9] J.A. Menéndez-Díaz, I. Martín-Gullón, "Chapter 1 Types of carbon adsorbents and their production," Editor(s): Teresa J. Badosz, Interface Science and Technology, *Elsevier*, vol 7, pp. 1–47, 2006.
- [10] Dillon, C. Edward C, Wilton, H. John, Barlow, C. Jared, Watson, A. William, "Large surface area activated charcoal and the inhibition of aspirin absorption". *Ann. Emerg. Med.* vol. 18 no. 5, pp. 547–552, 1989.
- [11] M. Imamoglu, O. Tekir, "Removal of copper (II) and lead (II) ion from aqueous solution by adsorption on activated carbon from a new precursor hazelnut husks," *Desalination*, vol. 228, no. 1–3, pp. 108–113, 2008.
- [12] K. T. Klasson, L. H. Wartelle, E. James, J. E. Rodgers, I. M. Lima, "Copper(II) adsorption by activated carbons from pecan shells: Effect of oxygen level during activation," *Ind. Crops Prod.* vol. 30, no. 1, pp. 72–77, 2009.

- [13] J. C. Moreno-Piraján, V.S. Garcia-Cuello, L. Giraldo, "The removal and kinetic study of Mn, Fe, Ni and Cu ions from wastewater onto activated carbon from coconut shells," *Adsorption*. vol. 17, pp. 505–514, 2011.
- [14] F. Bouhamed, Z. Elouear, J. Bouzid, "Adsorptive removal of copper(II) from aqueous solution on activated carbon prepared from Tunisian date stones: Equilibrium, kinetic and thermodynamics," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* vol. 43, no. 5, pp. 741–749, 2012.
- [15] D. D. Milenković, A. L. J. Bojić, V. B. Veljković, "Ultrasound-Assisted Adsorption of 4-Dodecylbenzene Sulfonate from Aqueous Solution by Corn Cob Activated Carbon," *Ultrason. Sonochem.* vol. 20, no. 3, pp. 955–962, 2013.
- [16] A. Muslim, "Australian pine cones-based activated carbon for adsorption of copper in aqueous solution," *J. Eng. Sci. Technol.* vol. 12, no. 2, pp. 280–295, 2017.
- [17] A. Muslim, Ellysa, D. S. Syahiddin, "Cu(II) ions Adsorption Using Activated Carbon Prepared from Pithecellobium Jiringa (Jengkol) Shells with Ultrasonic Assistance: Isotherm Kinetic and Thermodynamic Studie," *J. Eng. Technol. Sci.* vol. 49, no. 4, pp. 472–490, 2017.
- [18] W. Nakbanpote, B. A. Goodman, P. Thiravetyan, "Copper adsorption on rice husk derived materials studied by EPR and FTIR," *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* vol. 304, no. 1–3, pp. 7–13, 2007.
- [19] A. A. M. Daifullah, B. S. Girgis, H. M. H. Gad, "Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plans," *Mater. Lett.* vol. 57, pp. 1723–1731, 2003.
- [20] M. G. A. Vieira, A. F. de Almeida Neto, M. G. C da Silva, C. N. Carneiro, A/ A. Melo Filho, "Adsorption of lead and copper ions from aqueous effluents on rice husk ash in a dynamic system," *Braz. J. Chem. Eng.* vol. 31, no. 2, pp. 519–529, 2014.
- [21] K. K. Krishnani, X. Meng, C. Christodoulatos, V. M. Boddu, "Bisorption mechanism of nine different heavy metals onto biomatrix from rice husk," *J. Hazard. Mater.* vol. 153, pp. 1222–1234, 2008.
- [22] K. S. Lokare, "Rising from the Ashes: Renewable Silica from Rice Husk Ash," <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/09/06/rising-from-the-ashes-renewable-silica-from-rice-husk-ash/>.
- [23] A. Muslim, Marwan, R. Saifullah, M. Y. Azwar, Darmadi, B. P. Putra, S. Rizal, "Adsorption of Cu(II) Ions on Areca Catechu Stem-based Activated Carbon: Optimization Using Response Surface Methodology," *Iremos*, vol. 12, no. 2, pp. 123–129, 2019.
- [24] S. Lagergren, "About the theory of so-called adsorption of soluble substances," *Kungliga Svenska Vetenskapsakademies Handlingar*, vol. 24, no. 4, pp. 1–39, 1989.
- [25] Y. S. Ho, D. A. J. Wase, C. F. Forster, "Kinetic studies of competitive heavy metal adsorption by sphagnum moss peat," *Environ. Technol.*, vol. 17, pp. 71–77, 1996.
- [26] K. K. Wong, C. K. Lee, K. S. Low, M. J. Haron, "Removal of Cu and Pb by tartaric acid modified rice husk from aqueous solutions," *Chemosphere*, vol. 50, pp. 23–28, 2003.
- [27] N. Frikha, E. Schaer, J. L. Houzelot, "Methodology of multiphase reaction kinetics and hydrodynamics identification: Application to catalyzed nitrobenzene hydrogenation," *Chem. Eng. J.* vol. 124, no. 1–3, pp. 19–28, 2006.
- [28] R. Shiba, Md. A. Uddin, Y. Kato, S. Kitamura, "Solid/liquid Mass Transfer Correlated to Mixing Pattern in a Mechanically-stirred Vessel," *ISIJ International*. vol. 54, no. 12, pp. 2754–2760, 2014.
- [29] R. Tschentscher, R. J. P. Spijkers, T. A. Nijhuis, J. van der Schaaf, and J. C. Schouten, "Liquid–Solid Mass Transfer in Agitated Slurry Reactors and Rotating Solid Foam Reactors," *Ind. Eng. Chem. Res.* vol. 49, no. 21, pp. 10758–10766, 2010.
- [30] E. Y. Bong, N. Eshtiaghi, J. Wu, R. Parthasarathy, "Optimum solids concentration for solids suspension and solid–liquid mass transfer in agitated vessels," *Chem. Eng. Res. Des.* vol. 100, pp. 148–156, 2015.
- [31] L. André, Cazetta, M. M. Alexandro, Vargas, M. Eurica, Nogami, M. H. Kunita, M. R. Guilherme, A. C. Martins, T. L. Silva, J. C.G. Moraes, V. C. Almeida, "NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption," *Chem. Eng. J.* vol. 174, no. 1, pp. 117–125, 2011.
- [32] A. Zengin, M. K. Akalin, K. Tekin, M. Erdem, T. Turga, K. Karagoz, "Preparation and Characterization of Activated Carbons from Waste Melamine Coated Chipboard by Koh Activation," *Ekoloji*, vol. 21, no. 85, pp. 123–128, 2012.
- [33] N. T. Coleman, A. C. McClung, D. P. Moore, "Formation constants for Cu(II)-peat complexes,"

- Science*. vol. 123, pp. 330–331, 1956.
- [34] D. S. Syahiddin, A. Muslim, “Adsorption of Cu(II) Ions onto Myristica Fragrans Shell-based Activated Carbon: Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Studies,” *J. Korean Chem. Soc.* vol. 62, no. 2, pp. 79-86, 2018.
- [35] A. E. Ofomaja, E. B. Naidoo, S. J. Modise, “Kinetic and Pseudo-Second-Order Modeling of Lead Biosorption onto Pine Cone Powder,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 49, no. 6, 2562–2572, 2010.
- [36] K. D. Kowanga, E. Gatebe, G. O. Mauti, E. M. Mauti, “Kinetic, sorption isotherms, pseudo-first-order model and pseudo-second-order model studies of Cu(II) and Pb(II) using defatted Moringa oleifera seed powder,” *The Journal of Phytopharmacology* vol. 5, no. 2, 71–78, 2016.