

KINETIC STUDIES OF Cu ADSORPTION FROM SASIRANGAN LIQUID WASTE USING RICE HUSK ACTIVATED CARBON

Isna Syaughiah^{1), 2)}, Desi Nurandini^{1), 2)*}, Nopi Stiyati Prihatini^{2), 3)}, Jamiyaturrasidah³⁾

¹⁾ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Lambung Mangkurat University, South Kalimantan, Indonesia

²⁾ Wetland Based Materials Research Group, Lambung Mangkurat University,
South Kalimantan, Indonesia

³⁾ Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering,
Lambung Mangkurat University, South Kalimantan, Indonesia

* E-mail corresponding author: desi.nurandini@ulm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<i>Article history:</i> Received: 29-09-2021 Received in revised form: 01-10-2021 Accepted: 03-10-2021 Published: 04-10-2021	<i>The industry of sasirangan – traditional fabric of Banjar Tribe – has been one of prime commodities of South Kalimantan. The coloring process in sasirangan production used a lot of chemical elements containing heavy metals and its waste potentially pollute the environment. One of the heavy metal waste contained is copper (Cu) which is toxic to aquatic organisms and humans. The treatment for sasirangan liquid waste can be done by adsorption process using activated carbon as adsorbent. This study aims to determine the appropriate kinetic model for adsorption of Cu metal from sasirangan liquid waste using activated carbon adsorbent made from rice husks. The process was conducted by batch system with chemical and physical activation. Chemical activation was done by soaking the activated carbon of rice husk with HCl solution for 24 hours. While physical activation was carried out by burning in a furnace at 500°C for 2 hours. The adsorption treatment was given on sasirangan waste samples with variations on contact time (30, 60 and 120 minutes). The results of kinetics study showed that the adsorption process of Cu from sasirangan liquid waste onto rice husk activated carbon adsorbent followed first-order reaction kinetics with a correlation coefficient value (R^2) of 0.96 and adsorption rate constant (k_1) of 0.0044 min⁻¹.</i>
<i>Keywords:</i> Sasirangan liquid waste Cu metal Adsorption Activated carbon Rice husk	

STUDI KINETIKA ADSORPSI Cu DARI LIMBAH CAIR SASIRANGAN DENGAN ADSORBEN ARANG AKTIF SEKAM PADI

Abstrak- Sasirangan adalah kain khas adat suku Banjar di Kalimantan Selatan. Industri sasirangan merupakan salah satu komoditi unggulan Kalimantan Selatan. Pembuatan sasirangan dari proses pewarnaan banyak menggunakan unsur bahan kimia yang mengandung logam berat, sehingga limbahnya yang masih mengandung unsur logam berat tersebut berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu limbah logam berat yang terkandung tersebut adalah tembaga (Cu) yang bersifat toksik terhadap organisme air dan manusia. Pengolahan limbah cair industri sasirangan dapat dilakukan dengan proses adsorpsi yang menggunakan arang aktif sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model kinetika yang sesuai untuk adsorpsi logam Cu dari limbah cair sasirangan dengan menggunakan adsorben arang aktif dari sekam padi. Proses adsorpsi dilakukan menggunakan sistem *batch* dan aktivasi secara fisika kimia. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan merendam arang aktif sekam padi dengan larutan HCl 0,1 M selama 24 jam sedangkan aktivasi secara fisika dilakukan dengan pembakaran dengan *furnace* pada suhu 500°C selama 2 jam. Perlakuan adsorpsi diberikan pada sampel limbah sasirangan untuk variasi waktu kontak (30, 60, dan 120 menit). Hasil studi kinetika menunjukkan bahwa proses adsorpsi logam Cu pada adsorben arang aktif sekam padi mengikuti kinetika reaksi orde satu dengan nilai koefisien korelasi (R^2) 0,96 dan konstanta laju adsorpsi (k_1) 0,0044 menit⁻¹.

Kata kunci : limbah cair sasirangan, logam Cu, adsorpsi, arang aktif, sekam padi

PENDAHULUAN

Sasirangan adalah kain khas adat suku Banjar di Kalimantan Selatan. Sejak tahun 2007, industri sasirangan ditetapkan sebagai salah satu dari sepuluh produk unggulan Kalimantan Selatan (Putra, 2011). Pembuatan sasirangan dari proses pewarnaan banyak menggunakan unsur bahan kimia yang mengandung logam berat, sehingga bahan buangnya juga masih mengandung unsur logam berat tersebut. Apabila bahan buangan tersebut tidak dikelola dengan baik, maka bahan buangan tersebut dapat mencemari lingkungan. Salah satu logam berat yang terkandung limbah tersebut adalah tembaga (Cu) yang bersifat toksik terhadap organisme air dan manusia pada batas konsentrasi tertentu (Foo & Hameed, 2010).

Berdasarkan baku mutu limbah cair industri tekstil PerMen LH No 5 Tahun 2014, kadar maksimum logam Cu adalah 2 mg/L. Parameter pencemar tersebut dalam limbah cair sasirangan masih melebihi ambang batas dari baku mutu limbah cair industri yang ditetapkan (Islamiyah & Koestiari, 2014), maka diperlukan suatu teknologi pengolahan limbah cair yang efektif dan efisien untuk mengantisipasi dan meminimalisir potensi dampak lingkungan yang dihasilkan. Berbagai penelitian tentang teknologi pengolahan limbah cair telah dikembangkan: presipitasi, koagulasi, sedimentasi, otasi, filtrasi, proses membran, rekayasa elektrokimia, proses biologi, reaksi kimia, adsorpsi, dan pertukaran ion (Li, et al., 2013). Menurut Foo & Hameed (2012), proses adsorpsi oleh karbon aktif, dimana adsorben dengan permukaan berpori besar, struktur pori yang dapat dikontrol, dan stabilitas termal, dianggap sebagai pendekatan yang paling efisien dan menjanjikan dalam pengolahan limbah cair. Proses adsorpsi ini diharapkan dapat menyerap ion-ion logam berat yang terdapat pada limbah cair. Teknik ini lebih menguntungkan dari pada teknik yang lain dilihat dari segi biaya yang tidak begitu besar serta tidak adanya efek samping zat beracun (Babaso & Sharanagouda, 2017). Adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif merupakan salah satu metode yang efisien yang saat ini telah banyak dikembangkan. Karbon aktif dapat dibuat dengan mengaktifkan bahan atau material yang mengandung karbon pada kondisi tertentu. Untuk meningkatkan kemampuan penyerapan karbon aktif maka dilakukan proses aktivasi.

Salah satu adsorben alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan karbon aktif dari limbah organik sekam padi. Hal ini disebabkan sifat sekam padi yang rendah nilai gizinya, tahan terhadap pelapukan, memiliki kandungan abu yang tinggi, bersifat abrasif, mempunyai kandungan kayu serta memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi dan berkaitan dengan ketersediaan limbah sekam

padi yang cukup banyak di segala tempat maupun waktu serta pemanfaatan limbah tersebut yang masih terbatas (Babaso & Sharanagouda, 2017). Menurut Badan Pusat Statistik, Indonesia menghasilkan limbah sekam padi sebanyak 8,2 sampai 10,9 ton (Danarto & Samun, 2008). Proses penggilingan dari produksi padi menghasilkan sekam padi sebesar 20% (Lopez, et al., 2014). Potensi limbah yang besar ini hanya sedikit yang baru dioptimumkan. Secara tradisional, pada umumnya sekam padi biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar konvensional, bahan bakar alternatif untuk pembakaran batu bata atau dibakar untuk digunakan sebagai abu gosok. Padahal sekam padi merupakan biomassa yang sangat potensial dimanfaatkan sebagai biosorben (Folletto, et al., 2006). Hal ini terkait dengan kandungan biomassa tersebut, dimana pada Tabel 1 ditunjukkan hasil analisis komposisi dari sekam padi (Sofyan, 2011).

Tabel 1. Komposisi umum dari sekam padi

Komposisi	Persentase (%)
Selulosa	32,12
Hemiselulosa	22,48
Lignin	22,34
Abu Mineral	13,87
Air	7,86
Bahan Lain	2,33

Biomassa dari tumbuhan banyak mengandung selulosa, termasuk sekam padi yang mengandung 32,12% selulosa, 22,48% hemiselulosa, serta 22,34% lignin. Material yang mengandung selulosa dapat mengabsorpsi kation logam dari medium larutan. Kandungan selulosa inilah yang membuatnya berpotensi dimanfaatkan sebagai biosorben logam berat dari medium air (Sofyan, 2011). Dalam hal ini menjadi sangat penting untuk dilakukan penelitian kajian eksperimental mengenai efektivitas arang aktif dari sekam padi dalam penjerapan logam berat ditinjau dari kinetika adsorpsinya, khususnya logam Cu sebagai salah satu kontaminan dalam limbah cair sasirangan.

Model kinetika adsorpsi digunakan untuk mengolah data dalam penanganan limbah cair dengan metode adsorpsi untuk menentukan variabel yang terlibat dan mekanisme adsorpsi yang terjadi. Model kinetika adsorpsi juga diperlukan untuk memprediksi laju transfer massa adsorbat dari larutan ke adsorben (Singh, et al., 2008). Pada penelitian ini kinetika penjerapan logam Cu oleh arang aktif sekam padi telah dievaluasi, sehingga dapat menentukan kondisi optimum penyerapan ion logam tersebut. Penentuan kinetika adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan laju reaksi orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga. Kinetika adsorpsi logam berat dapat berbeda-beda tergantung kepada

logam berat yang akan diadsorpsi dan adsorben karbon aktif yang digunakan pada proses adsorpsi tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan studi kinetika adsorpsi logam Cu pada karbon aktif sekam padi yang dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah cair industri sasirangan.

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri atas air limbah dari rumah produksi sasirangan di Banjarmasin, sekam padi dari tempat penggilingan padi di Gambut (Kab. Banjar), HCl, HNO₃, dan aquades.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap. Tahap awal adalah pengambilan sampel limbah cair sasirangan kemudian disimpan ke dalam *cool box*. Jika tidak langsung digunakan, sampel diawetkan dengan menambahkan HNO₃. Selanjutnya adalah pembuatan arang aktif sekam padi yang dilakukan dengan menjemur sekam padi hingga kering kemudian pembakaran secara pirolisis. Arang sekam padi dari hasil karbonisasi diaktivasi secara kimia dengan merendam dalam larutan HCl 0,1 M selama 24 jam. Aktivasi fisika dilakukan dengan membakar arang hasil aktivasi kimia dengan furnace pada suhu 500°C. Arang yang telah diaktivasi dilakukan perlakuan terhadap variasi waktu kontak (30, 60, dan 120 menit) untuk mendapatkan hasil optimum dalam adsorpsi logam Cu. Kemudian dilakukan uji dan analisis data yang diperoleh untuk memberikan gambaran tentang pengaruh waktu kontak adsorben arang aktif dari sekam padi terhadap penyerapan logam Cu dari limbah cair sasirangan.

Model kinetika ditentukan berdasarkan data adsorpsi eksperimental yang tergantung pada waktu dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga. Model kinetika orde ke nol dapat dirumuskan pada Persamaan 1 berikut (Estiaty, 2013):

$$C_e = -k_0 t + C_0 \quad (1)$$

Model kinetika orde satu dirumuskan pada Persamaan 2 (Singh, et, al., 2008):

$$\ln C_e = -k_1 t + \ln C_0 \quad (2)$$

Persamaan orde dua menurut dirumuskan pada Persamaan 3 (Singh, et, al., 2008):

$$\frac{1}{C_e} - \frac{1}{C_0} = k_2 t \quad (3)$$

Sedangkan untuk persamaan orde ketiga dapat dirumuskan pada Persamaan 4 sebagai berikut (Singh, et, al., 2008):

$$\frac{1}{C_e^2} = \frac{1}{C_0^2} - 2k_3 t \quad (4)$$

Melalui *fitting* data C_e , $\ln C_e$, $1/C_e$, $1/C_e^2$ terhadap t , dapat diketahui kesesuaian data eksperimental adsorpsi terhadap model kinetika, yaitu dari nilai korelasi (R^2). Sedangkan nilai konstanta reaksi orde 0 (k_0), orde 1 (k_1), orde 2 (k_2) dan orde 3 (k_3)

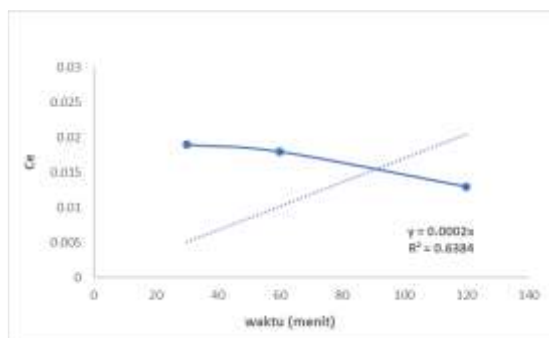
diperoleh dari kemiringan (*slope*) dan perpotongan (*intercept*) pada kurva.

HASIL DAN PEMBAHASAN

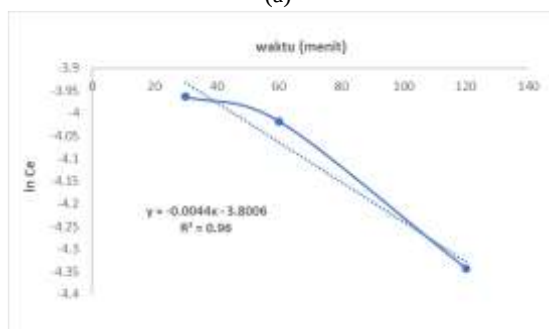
Sekam padi sangat potensial untuk dijadikan biosorben untuk pengolahan lingkungan sumber air yang tercemar oleh limbah logam berat, dimana berdasarkan hasil penelitian Sofyan (2011), di dalam biomasa sekam padi banyak mengandung selulosa yaitu 32,12% selulosa, 22,48% hemiselulosa serta 22,32% lignin. Material yang mengandung selulosa dapat mengadsorpsi kation logam dari medium larutan. Perlakuan tahap awal pada sekam padi adalah karbonisasi, dimana dilakukan pembakaran secara pirolisis untuk dapat menjadi arang aktif. Tujuan karbonisasi adalah untuk menghilangkan unsur oksigen dan hidrogen untuk menghasilkan karbon yang memiliki struktur sendiri. Karbonisasi terjadi dalam beberapa tahap antara lain penghilangan komponen air atau dehidrasi, pengubahan bahan organik menjadi unsur karbon dan dekomposisi tar sehingga pori-pori karbon menjadi lebih besar. Pada proses karbonisasi terjadi transformasi fisik pada sekam padi yaitu perubahan warna menjadi hitam.

Pada penelitian ini kinetika adsorpsi yang berlangsung dikaji dengan mengolah data adsorpsi pada berbagai waktu interaksi dengan plot regresi linier untuk berbagai model kinetika. Model kinetika yang digunakan adalah model kinetika orde nol, satu, dua, dan tiga. Model kinetika orde nol dirumuskan: $C_e = -k_0 t + C_0$, dengan C_0 merupakan konsentrasi awal larutan (mg/L), C_e merupakan konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mg/L), k_0 adalah konstanta laju adsorpsi, dan t merupakan waktu kontak adsorpsi (menit). Melalui *fitting* data C_e terhadap waktu (t) dapat diketahui kesesuaian data dengan model kinetika berdasarkan nilai koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh. Sedangkan nilai konstanta laju adsorpsi (k) diperoleh dari kemiringan (*slope*) kurva. Selanjutnya untuk reaksi orde satu, persamaan kinetika reaksi dapat dirumuskan: $-\ln C_e = -k_1 t + \ln C_0$. Melalui pengaluran data $\ln C_e$ terhadap waktu (t) dapat diketahui kesesuaian data terhadap model kinetika, yaitu dari nilai koefisien korelasi (R^2), sedangkan nilai k diperoleh dari kemiringan (*slope*) grafik yang diperoleh. Sementara itu persamaan orde dua dirumuskan : $1/C_e - 1/C_0 = k_2 t$. Dari plot data $1/C_e$ terhadap waktu (t) dapat diketahui kesesuaian data terhadap model kinetika, yaitu dari nilai koefisien korelasi (R^2), sedangkan nilai k_2 diperoleh dari kemiringan (*slope*) grafik yang diperoleh. Dan untuk orde ketiga dapat dirumuskan $1/C_e^2 = 1/C_0^2 + 2 k_3 t$. Dari plot data $1/C_e^2$ terhadap waktu (t) dapat diketahui kesesuaian data terhadap model kinetika, yaitu dari nilai koefisien korelasi (R^2), sedangkan nilai k_3 diperoleh dari kemiringan

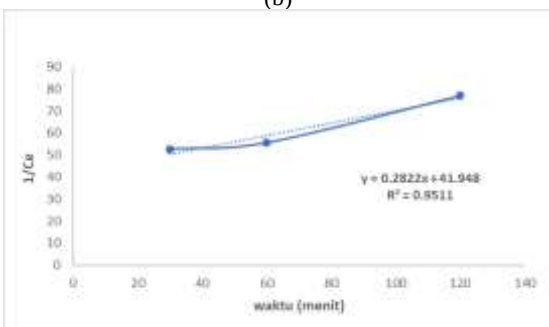
(slope) grafik yang diperoleh. Kinetika orde nol artinya konsentrasi spesies tidak mempengaruhi laju reaksi sedangkan kinetika orde 1, 2, dan 3 (bilangan bulat positif) artinya bahwa konsentrasi spesies mempengaruhi laju reaksi. Grafik regresi linier untuk model kinetika orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga ditunjukkan pada Gambar 1.



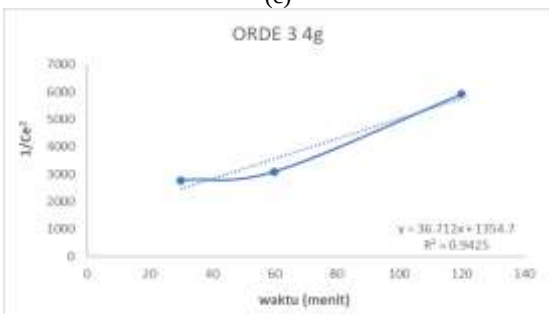
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1. Model kinetika adsorpsi logam Cu dari limbah cair sasirangan pada adsorben karbon aktif sekam padi: (a) Orde Nol (b) Orde Satu (c) Orde Dua (d) Orde Tiga

Hasil plot regresi linier berupa parameter kinetika adsorpsi ditampilkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Parameter kinetika adsorpsi Cu pada adsorben arang aktif sekam padi

Kinetika Reaksi	Parameter	
	R ²	k
Orde Nol	0,6384	0,0002
Orde Satu	0,9600	0,0044
Orde Dua	0,9511	0,2822
Orde Tiga	0,9425	36,712

Tabel 2 menunjukkan parameter perhitungan kinetika adsorpsi masing-masing persamaan model kinetika. Model kinetika adsorpsi logam Cu pada adsorben karbon aktif sekam padi yang sesuai ditentukan dengan membandingkan nilai koefisien korelasi (R^2) dari keempat orde model kinetika tersebut. Hasil plot regresi linier dengan nilai R^2 yang lebih mendekati 1 ditentukan sebagai model kinetika yang sesuai untuk proses adsorpsi Cu pada adsorben karbon aktif sekam padi. Berdasarkan hasil *fitting* data terhadap persamaan-persamaan model kinetika yang dievaluasi, diperoleh bahwa model kinetika orde satu menunjukkan nilai koefisien korelasi R^2 yang paling mendekati 1 daripada orde yang lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adsorpsi logam Cu dari limbah cair sasirangan pada adsorben karbon aktif sekam padi berlangsung mengikuti model kinetika orde satu dengan nilai koefisien korelasi (R^2) 0,96 dan konstanta laju adsorpsi (k_1) sebesar 0,0044 menit⁻¹. Dengan demikian kecepatan adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini dipengaruhi oleh konsentrasi satu reaktan, yaitu pangkat satu konsentrasi Cu. Jika konsentrasi Cu semakin besar, maka laju adsorpsi akan semakin cepat.

Plot kinetika orde satu pada Gambar 1(b) terlihat tidak terlalu linear, hal ini terjadi karena beberapa faktor, antara lain tidak dilakukannya pengaturan pH (buffer) sehingga pH larutan cukup rendah (pH=1). Tingkat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam adsorpsi karena perubahan tingkat keasaman larutan limbah yang mengandung logam dapat menyebabkan perubahan muatan dari permukaan adsorben maupun perubahan spesi ion logam. Pada tingkat keasaman yang tinggi (pH rendah), jumlah ion H^+ sangat melimpah sehingga dapat menyebabkan sebagian besar pasangan elektron bebas pada oksigen akan berikatan dengan H^+ . Hal ini dapat menyebabkan terjadinya tolakan elektrostatis antara adsorben dan adsorbat yang sama-sama bermuatan positif. Akan tetapi, tingkat keasaman yang terlalu rendah (pH tinggi) akan menyebabkan persentase logam yang terserap akan semakin berkurang karena akan terjadinya

pengendapan logam. Dengan demikian penentuan pH optimum dalam adsorpsi logam ternyata sangat perlu diperhatikan agar adsorpsi logam oleh adsorben tidak terganggu dan akan dicapai hasil yang maksimum

KESIMPULAN

Adsorpsi logam Cu dari limbah cair sasirangan pada adsorben karbon aktif sekam padi berlangsung mengikuti model kinetika orde satu dengan nilai koefisien korelasi (R^2) 0,96 dan konstanta laju adsorpsi (k_1) sebesar 0,0044 menit⁻¹.

Karbon aktif dapat dibuat dari biomassa yang dikembangkan sebagai adsorben untuk ion logam lainnya dimana proses yang dibutuhkan dalam sintesis dan adsorpsi adalah sederhana dan efektif. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan berbagai jenis adsorben, sehingga diperoleh hasil yang paling baik untuk diterapkan pada limbah cair sasirangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Lambung Mangkurat melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) atas Hibah Pendanaan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Skema Pembiayaan PNBP Universitas Lambung Mangkurat Tahun Anggaran 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Babaso, P. N., & Sharanagouda, H., 2017, "Rice Husk and Its Applications: Review", *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol.6 (10), pp 1144-1156.
- Bassett, J., 1994, "Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik", Penerbit buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Danarto, Y.C. & Samun, T., 2008, "Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cr(VI)", *Ekulibrium*. Vol. 7 (1), hal 13-16.
- Eckenfelder, 2000, "Industrial Water Pollution Control", Mc Graw Hill Book Company, Singapore.
- Estiaty, L. M., 2013, "Kesetimbangan dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu²⁺ pada Zeolit-H", *Ris. Geo. Tam.*, Vol.22, (2), pp 127-141.
- Folletto, E. L., Ederson, G., & Leonardo, H. O., 2006, "Conversion of Rice Husk Ash Into Sodium Silicate", *Material Research*, Vol. 9, (3), pp 335-338.
- Foo K. Y., Hameed, B. H., 2012, "Potential of Activated Carbon Adsorption Processes for The remediation of nuclear effluents: A recent literature", *Desalin. Water Treat.* Vol. 41 pp 72-78.
- Foo K. Y., Hameed, B. H., 2010, "An Overview of Dye Removal via Activated Carbon Adsorption Process", *Desalin. Water Treat.* Vol. 19 pp 255-274.
- Islamiyah, N. S. & Koestiari, T., 2014, "Analisis Kadar Logam Tembaga di dalam Air Laut Kenjeran", Prosiding Seminar Nasional Kimia Universitas Negeri Surabaya.
- Li, J.Y.K., Zhao, B. L., Zhang, L. J., & Han, R. P., 2013, "Biosorption of Copper Ion by Natural and Modified Wheat Straw in Fixed-Bed Column", *Desalin. Water Treat.*
- Lopez, F. J., Sugita, S., Tagaya, M., & Kobayashi, T., 2014, "Geopolymers Using Rice Husk Silica and Metakaolin Derivatives; Preparation and Their Characteristics", *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, Vol. 2 (1), pp 35-43.
- Pratisto, A., 2005, "Cara Mudah Mengatasi Masalah Statistik dan Rancangan Percobaan dengan SPSS 12", PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Putra, M. R. A., 2011, "Analisis Peranan Industri kain Sasirangan Terhadap Perekonomian Kota Banjarmasin dan Strategi Pengembangan" Departemen Ilmu Ekonomi, Institut Pertanian Bogor.
- Simanjuntak, R. A., 2015, "Pengurangan Konsentrasi Cd pada Limbah Cair Industri Sasirangan Menggunakan Arang Aktif dari Sekam Padi", Skripsi, Universitas Lambung Mangkurat.
- Singh, S., Verma, L. K., Sambi, S. S., & Sharma, S. K., 2008, "Adsorption Behaviour of Ni (II) from Water onto Zeolite X: Kinetics and Equilibrium Studies", *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS)*, San Francisco, USA.
- Sofyan, A. G., 2011, "Biosorpsi Logam Berat di Lingkungan Akuatik Menggunakan Limbah Sekam Padi Sebagai Biosorben", Universitas Indonesia, Depok.
- Widayanti, I.I., & Aman, L.O., 2012, "Studi Daya Aktivasi Arang Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cd", Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas MIPA. Universitas Gorontalo.