



Konversi Ampas Tebu Menjadi Biochar dan Karbon Aktif untuk Penyisihan Cr(VI)

Borneo Satria Pratama, Putri Aldriana, Bambang Ismuyanto*), dan A.S Dwi Saptati N.H

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono No. 167, Malang, 6541, Telp: (0341) 587710 ext: 1333, Fax: (0341)574140

*) Penulis korespondensi : bambang_ismuyanto@yahoo.com

Abstract

Sugarcane bagasse is the residue of sugar cane milling process. Its value can be optimized as an alternative technology for the manufacturing of activated carbon, which can be used as adsorbent to remove Cr(VI) from wastewater. This study aims to determine the effect of carbonization temperature on the characteristics of biochar bagasse as well as the effect of activation with KOH solution. Carbonization process carried out at 400, 450, 500, 550 and 600°C in a fixed-bed reactor and flowed by nitrogen gas (N₂) at constant rate for 2 hours. Activated carbon is produced through the activation process of biochar obtained from bagasse carbonization process at 600°C, by soaking the biochar in 25 mL potassium hydroxide (KOH) 4 M solution at room temperature for 24 hours. The characteristics obtained show that higher the carbonization temperature could produce biochar with larger surface area and higher ash content. The activation process of biochar using KOH could produce activated carbon which has the largest surface area (1259.048 m²/g) and could reduce the ash content. The surface area of the adsorbent has effect on its ability of Cr(VI) adsorption from the solution

Keywords: *sugarcane bagasse, activated carbon, biochar, carbonization, adsorption*

Abstrak

Ampas tebu merupakan residu hasil penggilingan tanaman tebu setelah diambil niranya. Ampas tebu dapat dioptimalkan nilai guna dan fungsinya sebagai teknologi alternatif, yakni sebagai bahan pembuatan karbon aktif yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan Cr(VI). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu karbonisasi terhadap karakteristik biochar ampas tebu serta adanya aktivasi dengan KOH. Karbonisasi dilakukan pada suhu 400, 450, 500, 550 dan 600°C di dalam reaktor fixed-bed dengan mengalirkan gas nitrogen (N₂) dengan aliran konstan selama 2 jam. Karbon aktif dihasilkan melalui proses aktivasi biochar hasil karbonisasi suhu 600°C dengan metode perendaman menggunakan larutan kalium hidroksida (KOH) 4 M pada suhu ruang selama 24 jam. Karakteristik yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi dapat menghasilkan luas permukaan biochar lebih besar dengan kandungan abu yang semakin tinggi. Proses aktivasi pada biochar 600°C menggunakan KOH dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang sangat besar, yaitu 1259,048 m²/g disertai dengan penurunan kadar abu. Luas permukaan adsorben yang semakin besar dapat berpengaruh pada peningkatan kemampuan penyisihan Cr(VI) dari dalam larutan.

Kata kunci: ampas tebu, karbon aktif, biochar, karbonisasi, adsorpsi

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia yang sangat pesat menyebabkan limbah yang dihasilkan juga semakin bertambah. Limbah industri dapat

berupa limbah padat, cair maupun gas. Salah satu contohnya adalah limbah cair, yang apabila tidak ditangani dengan baik dapat memberikan kontribusi terhadap kerusakan lingkungan karena

pelepasan logam berat dan senyawa beracun seperti krom, timbal, nitrat dalam badan perairan.

Industri pelapisan logam menghasilkan limbah cair dan padat pada proses produksinya. Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair elektroplating antara lain besi, krom, seng, nikel, mangan dan tembaga (Nurhasni dkk., 2013). Krom merupakan bahan pencemar yang sangat berbahaya bagi lingkungan, karena mempunyai toksisitas yang sangat tinggi, terutama Cr(VI) (Sunardi dan Rosleini, 2011). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan Cr(VI) adalah adsorpsi (Yang dkk., 2015).

Ampas tebu merupakan residu hasil penggilingan tanaman tebu (*Saccharum officinarum*) setelah diekstrak niranya pada industri pemurnian gula. Menurut Kalderis dkk. (2008), ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Salah satu pemanfaatan ampas tebu adalah sebagai bahan pembuatan karbon aktif dikarenakan kandungan karbonnya yang tinggi.

Biochar merupakan produk kaya karbon yang diperoleh dari proses pemanasan biomassa dalam kontainer tertutup dengan kondisi minim ataupun tanpa udara. Secara teknis, dapat didefinisikan bahwa *biochar* merupakan produk yang dihasilkan melalui proses dekomposisi termal material organik dengan kondisi suplai oksigen yang terbatas dan pada temperatur yang relatif rendah (<700°C). Komposisi kimia biomassa memiliki dampak langsung terhadap sifat *biochar* yang dihasilkan.

Karbon aktif merupakan bahan berbasis karbon, yang memiliki porositas yang tinggi dan luas permukaan yang sangat besar (Crittenden dan Thomas, 1998). Karbon aktif juga dapat didefinisikan sebagai *biochar* yang telah diaktivasi dengan berbagai macam metode, baik menggunakan steam, bahan kimia ataupun menggunakan temperatur yang tinggi (>700°C) (Lehmann dan Stephen, 2009). Karbon aktif digunakan untuk aplikasi yang luas khususnya di bidang lingkungan, yaitu pada proses adsorpsi fase gas dan cair dalam industri (Cecen dan Aktas, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkonversi ampas tebu menjadi *biochar* dan karbon aktif, mengetahui pengaruh temperatur karbonisasi terhadap karakteristik *biochar* dan karbon aktif yang dihasilkan dari proses aktivasi *biochar*, serta aplikasinya pada proses penyisihan Cr(VI) dari limbah cair sintetik.

METODE PENULISAN

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah peralatan gelas, oven, desikator, neraca analitik, pH meter, tabung nitrogen, reaktor unggun tetap, pengayak 50 dan 60 mesh, *shaker*, Spektrofotometer UV-VIS dan *furnace*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas tebu, $K_2Cr_2O_7$ p.a, KOH p.a, akuades, 1,5-Diphenylcarbazine p.a, aseton, H_3PO_4 dan kertas saring.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu karbonisasi ampas tebu, aktivasi *biochar* menggunakan KOH 4 M, pembuatan sampel limbah sintetik ($K_2Cr_2O_7$), proses adsorpsi, dan analisa kandungan Cr(VI) dengan Spektrofotometer UV-Vis.

Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk membuat karbon aktif yakni ampas tebu yang diperoleh dari PG Kebon Agung Malang. Ampas tebu tersebut diayak dengan pengayak 50 mesh lolos dan 60 mesh tertahan, kemudian dikeringkan dengan oven pada temperatur 105°C hingga massa konstan.

Karbonisasi Ampas Tebu

Ampas tebu selanjutnya di karbonisasi pada temperatur 400, 450, 500, 550 dan 600°C selama 2 jam dengan dialirkan gas nitrogen (N_2) dengan aliran konstan di dalam reaktor *fixed bed*. *Biochar* yang dihasilkan disimbolkan dengan C400, C450, C500, C550 dan C600.

Aktivasi *Biochar* dengan KOH 4 M

Aktivasi dilakukan pada *biochar* 600°C dengan cara merendam *biochar* pada larutan kalium hidroksida (KOH) 4 M selama 24 jam pada suhu ruang. Karbon aktif yang dihasilkan kemudian dipisahkan dari larutan KOH menggunakan kertas saring, dicuci hingga pH netral dan dikeringkan pada suhu 105°C menggunakan oven hingga diperoleh massa konstan. Karbon aktif yang dihasilkan dari proses aktivasi *biochar* disimbolkan sebagai A600.

Pembuatan Sampel Limbah Sintetik Cr(VI)

Sampel penelitian dibuat dengan menggunakan $K_2Cr_2O_7$ sebagai krom heksavalen (Cr(VI)) dalam aquademin pH 2. Pembuatan limbah sintetik ini berdasarkan dengan *Standart Method 18th edition*. Larutan induk dibuat dengan melarutkan 0,1414 gr $K_2Cr_2O_7$ dengan aquademin pH 2 hingga volume 100 mL, sehingga didapatkan larutan induk Cr(VI) dengan konsentrasi 500 ppm. Selanjutnya larutan kerja didapatkan dengan mengambil 10 mL larutan induk Cr(VI) yang selanjutnya dilarutkan dengan aquademin pH 2 hingga volume 500 mL, sehingga diperoleh larutan kerja Cr(VI) dengan konsentrasi 10 ppm

Proses Adsorpsi Cr(VI)

Proses adsorpsi krom heksavalen oleh *biochar* dan karbon aktif dilakukan dengan menimbang adsorben pada masing-masing pengujian seberat 0,05 gr, kemudian ditambahkan ke dalam larutan kerja Cr(VI) 10 ppm pH 2 sebanyak 50 mL. Selanjutnya dilakukan proses adsorpsi dengan menggunakan *shaker* selama 90 menit pada temperatur ruang. Campuran disaring dan diambil filtratnya sebanyak 10 mL.

Analisa Kandungan Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-VIS

Larutan Cr(VI) setelah proses adsorpsi dianalisa menggunakan metode kolorimetri Spektrofotometer UV-VIS berdasarkan *Standart Method 18th edition*.

Pengujian Kadar Abu

Pengujian kadar abu pada karbon aktif dilakukan menurut *CEFIC Test Methods For Activated Carbon, 1986*.

Pengujian BET (Brunauer-Emmet-Teller)

Pengujian luas permukaan pada *biochar* dan karbon aktif dilakukan dengan metode BET. Sampel yang diujikan adalah C400, C600 dan A600.

Pengujian FT-IR (Fourier Transform Infrared)

Pengujian struktur ikatan permukaan yang terdapat pada *biochar* dan karbon aktif dilakukan dengan uji FT-IR. Sampel yang diujikan adalah ampas tebu, C600 dan A600.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa komposisi ampas tebu yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

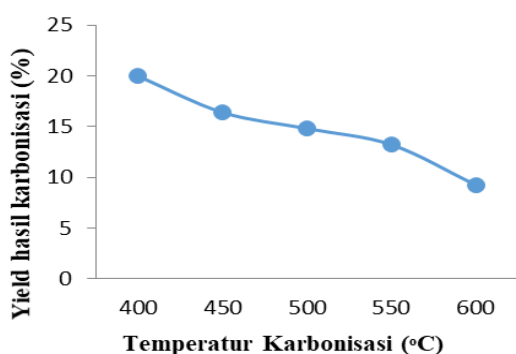
Tabel 1. Komposisi Ampas Tebu

Komponen	Presentase (%)
Selulosa	35,01
Hemiselulosa	25,24
Lignin	6,4
Silikat	9,35

Selulosa, hemiselulosa dan lignin digunakan sebagai sumber karbon dalam pembuatan *biochar* dan karbon aktif, sedangkan silikat merupakan salah satu sumber penyusun kadar abu.

Yield Hasil Karbonisasi

Hasil pengujian C400, C450, C500, C550 dan C600 menunjukkan nilai *yield* berturut-turut adalah 20%, 16,4%, 14,8%, 13,2% dan 9,2% yang ditunjukkan pada gambar 1.



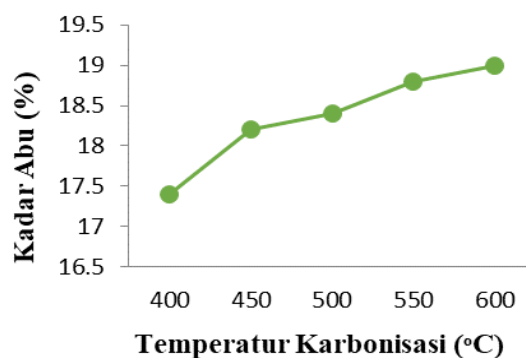
Gambar 1. Yield Hasil karbonisasi

Semakin tinggi temperatur karbonisasi, mengakibatkan *yield* hasil karbonisasinya semakin menurun. Hal ini terjadi karena pada saat pemanasan ampas tebu, senyawa organik yang volatil dari ampas tebu mudah terlepas.

Selama proses karbonisasi, terjadi proses dehidrasi, depolimerisasi, pemutusan ikatan dan pembentukan ikatan baru pada senyawa hidrokarbon dalam bahan, menghasilkan fragmen-fragmen dengan berat molekul tertentu (Yokoyama, 2008).

Hasil Pengujian Kadar Abu

Presentase kandungan kadar abu masing-masing produk karbonisasi yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2. Presentase kadar abu pada *biochar* diuji pada temperatur karbonisasi 400, 450, 500, 550 dan 600°C, dengan hasil berturut-turut sebesar 17,4%, 18,2%, 18,4%, 18,8% dan 19%.



Gambar 2. Presentase Kandungan Kadar Abu pada *Biochar*

Pada temperatur yang lebih tinggi, maka semakin banyak senyawa hidrokarbon yang teruapkan. Hal ini menyebabkan fraksi massa silikat dan mineral dalam *biochar* akan semakin besar dibandingkan fraksi massa karbon sehingga presentase kadar abu ikut meningkat.

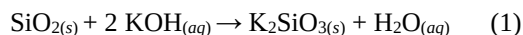
Pengaruh aktivasi KOH 4 M pada A600 terhadap kadar abu *biochar* dapat dibandingkan dengan C600, seperti disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan % Kadar Abu Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Diaktivasi oleh KOH

Sampel	Kadar Abu (%)
C600	19
A600	8.8

Setelah diaktivasi dengan KOH 4 M, terjadi penurunan kadar abu pada karbon. Hal ini dikarenakan aktivasi karbon menggunakan KOH dapat mengekstraksi kandungan silikat pada *biochar*, yang berakibat pada turunnya presentase kadar abu setelah karbon diaktivasi. Selama proses ekstraksi, silikat pada karbon akan bereaksi dengan KOH membentuk

kalium silikat, dengan mekanisme reaksi pada persamaan (1) (Fauziyah dkk., 2015):



Hasil Uji FTIR (Fourier Transform Infrared)

Hasil analisa FTIR ditunjukkan pada gambar 3, sedangkan karakteristik serapan IR pada setiap sampel dapat dilihat pada tabel 3.

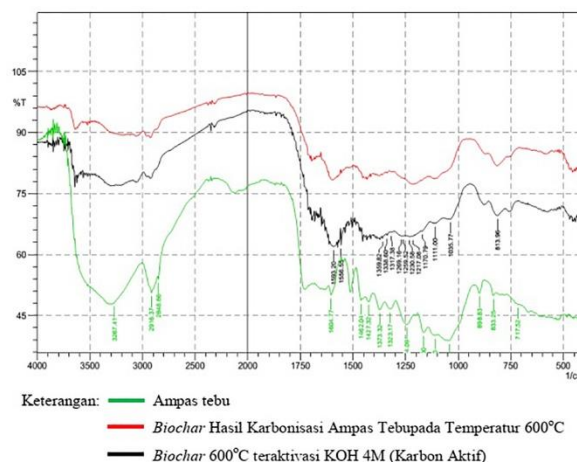
Tabel 3. Karakteristik Serapan IR pada Setiap Sampel

Daerah Serapan (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Sampel		
		Ampas Tebu	Biochar	Karbon Aktif
675-995	C-H			
3010-3095	(Alkena)	+	+	+
690-900	C-H			
3010-3100	(Cincin Aromatik)	+	+	+
1050-1300	C-O (Alkohol / eter / asam karboksilat / ester)	+	+	+
1180-1360	C-N (Amina / Amida)	+	+	+
1500-1600	C=C (Cincin Aromatik)	+	+	+
1300-1370	Gugus / Senyawa	+	+	+
1500-1570	NO ₂			
2850-2970	C-H (Alkana)	+	+	+
2100-2260	C≡C (Alkuna)	+	-	-
	C=O (Aldehid /			
1690-1760	keton / asam karboksilat / ester)	+	-	-
	O-H			
3200-3600	(Ikatan hidrogen / fenol)	+	-	-
	O-H			
3590-3650	(Ikatan monomer / fenol)	-	+	+

Pada ampas tebu, terdapat gugus fungsi O-H ikatan hidrogen dan ikatan C-H yang berasal dari selulosa, serta ikatan C=C yang berasal dari cincin aromatik lignin (Saelee dkk., 2014). Ikatan C=O mengindikasikan adanya gugus karboksilat ataupun karbonil yang terdapat pada cincin aromatik (Prapagdee, 2014).

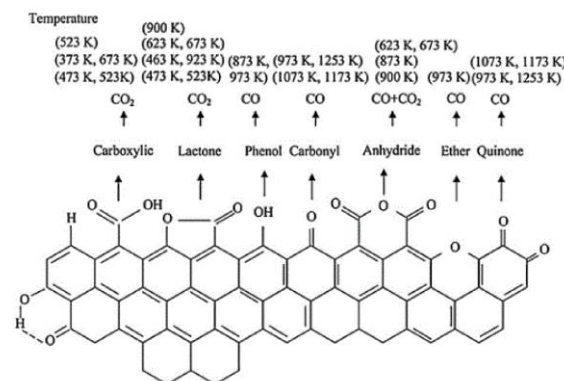
Setelah karbonisasi gugus C=O yang identik dengan gugus karboksilat pada ampas tebu

menghilang. Hal ini disebabkan karena pemanasan tanpa kehadiran oksigen dapat mendekomposisi gugus fungsional oksigen dari permukaan karbon. Gugus karboksilat (C=O) akan terdekomposisi pada temperatur 400°C (Shafeeyan dkk., 2010), sehingga pada temperatur 600°C, gugus C=O sudah terdekomposisi secara sempurna.



Gambar 3. Hasil Analisis FTIR Ampas Tebu, Biochar dan Karbon Aktif

Setelah karbonisasi, terjadi perubahan gugus O-H, dari ikatan hidrogen menjadi gugus monomer. Hal ini dikarenakan terjadinya aromatisasi senyawa selulosa menjadi struktur poliaromatik selama proses karbonisasi, sehingga gugus O-H akan menempel pada senyawa aromatik.



Gambar 4. Dekomposisi Gugus Fungsi Karbon dalam Kondisi Inert

Hasil Uji BET (Brunauer-Emmet-Teller)

Hasil analisa BET yang disajikan pada tabel 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi berdampak semakin luasnya permukaan biochar. Menurut Jeong dkk. (2015), peningkatan luas permukaan pada karbon disebabkan karena semakin banyaknya penguapan senyawa mudah menguap pada biochar, sehingga dapat membentuk ruang kosong dan pori pada struktur karbon.

Adsorben A600 memiliki luas permukaan dan volume pori yang lebih besar dibanding C600.

Treatment larutan alkali pada temperatur rendah mampu meningkatkan porositas *biochar* dengan menghilangkan kandungan tar yang berasal dari proses karbonisasi, sehingga dapat memperbesar luas permukaan karbon (Jin dkk., 2014). Selain itu, proses ekstraksi silikat oleh KOH juga mampu membentuk ruang pada struktur karbon, sehingga dapat menghasilkan luas permukaan karbon yang lebih besar (Xing dkk., 2011).

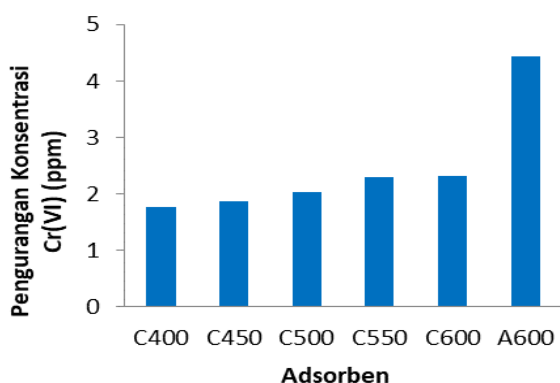
Tabel 4. Data Hasil Uji BET pada Biochar dan Karbon Aktif

Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)	Diameter Pori Rata-Rata (Å)	Volume Pori Total (cc/g)
C400	15,410	61,034	0,02351
C600	45,021	54,812	0,06169
A600	1259,048	42,116	1,326

Berdasarkan klasifikasi diameter pori oleh IUPAC, Karbon aktif C400, C600 dan A600 dengan diameter pori berturut-turut 61,034 Å; 54,812 Å dan 42,116 Å termasuk jenis mesopori dimana diameter rerata *biochar* dan karbon aktif tersebut berada pada range 20 Å hingga 500 Å (Cecen dan Aktas, 2012).

Aplikasi Biochar dan Karbon Aktif untuk Mereduksi Cr(VI) pada Limbah Cair

Pada penelitian ini, dilakukan aplikasi adsorpsi pada *biochar* hasil karbonisasi pada temperatur 400, 450, 500, 550 dan 600°C yang disimbolkan dengan C400, C450, C500, C550 dan C600 serta *biochar* 600°C teraktivasi KOH 4 M yang disimbolkan dengan A600.



Gambar 5. Konsentrasi Cr(VI) Setelah Adsorpsi Menggunakan Biochar dan Karbon Aktif

Dari hasil uji adsorpsi, didapatkan data pengurangan konsentrasi Cr(VI) dalam larutan pada C400, C450, C500, C550, C600 dan A600 berturut-turut adalah sebesar 1,779 ppm, 1,877 ppm, 2,037

ppm, 2,292 ppm, 2,319 ppm dan 4,438 ppm, seperti ditunjukkan pada gambar 5.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin luas permukaan biochar dan karbon aktif, maka semakin besar kemampuan adsorpsinya. Menurut Cecen dan Aktas (2012) semakin luas permukaan adsorben menunjukkan bahwa adsorben semakin berpori dan mampu memiliki *yield* adsorpsi yang lebih baik per satuan massa adsorben.

KESIMPULAN

1. Semakin tinggi temperatur karbonisasi ampas tebu (400-600°C) dapat menghasilkan *biochar* dengan *yield* yang lebih rendah (20%-9,2%), kadar abu yang lebih tinggi (17,4%-19%), dan luas permukaan yang lebih besar (15,41 m²/g - 45,021 m²/g)
2. Aktivasi *biochar* menggunakan KOH dapat menghasilkan karbon aktif dengan kadar abu yang lebih rendah (8,8%) dan luas permukaan yang lebih besar (1259,048 m²/g) dibandingkan dengan *biochar* tanpa aktivasi.
3. Semakin tinggi temperatur karbonisasi ampas tebu, kemampuan penyisihan Cr(VI) oleh *biochar* semakin meningkat, yaitu dari 17,79% hingga 23,19%. Aktivasi *biochar* menggunakan KOH dapat menghasilkan karbon aktif dengan kemampuan penyisihan Cr(VI) lebih baik dibandingkan dengan *biochar* tanpa aktivasi, yaitu sebesar 44,38%.
4. Perlu dilakukan pengujian dengan variasi konsentrasi aktivator KOH untuk mengetahui perbedaan luas permukaan yang dihasilkan setelah proses aktivasi, terutama pada konsentrasi yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Cecen, F. dan Aktas, O. (2012). *Activated Carbon For Water and Wastewater Treatment*. Germany: Wiley-VCH Verlag & Co. KgaA.
- Crittenden, B., dan Thomas, W. J. (1998). *Adsorption Technology and Design*. UK: Butterworth-Heinemann.
- Fauziyah, R., Zakir, M., dan Maming (2015). Elektrodeposisi Logam Pb pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika dengan Iradiasi Ultrasonik. *Skripsi*, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Jeong, C.Y., Dodla, S.K., dan Wang, J.J. (2015). Fundamental and Molecular Composition Characteristics of Biochars Produced from Sugarcane and Rice Crop Residues and By-Products. *Chemosphere*, 142, 4–13.
- Jin, H., Capareda, S., Chang, Z., Gao, J., Xu, Y., dan Zhang, J. (2014). Biochar Pyrolytically Produced from Municipal Solid Wastes for Aqueous As(V) Removal:

Adsorption Property and Its Improvement with KOH Activation. *Bioresource Technology*, 169, 622–629.

Kalderis, D., Bethanis, S., Paraskeva, P., dan Diamadopolous, E. (2008). Production of Activated Carbon From Bagasse and Rice Husk by A Single-Stage Chemical Activation Method at Low Retention Times. *Bioresource Technology*, 99(15), 6809–6816.

Lehmann, J. dan Stephen, J. (2009). *Biochar for Environmental Management*. UK: MPG Books.

Nurhasni, N., Salimin, Z., dan Nurfitriyanti, I. (2013). Pengolahan Limbah Industri Elektroplating dengan Proses Koagulasi Flokulasi. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1), 41-47.

Saelee, K., Yingkamhaeng, N., Nimchua, T., dan Sukyai, P. (2014). Extraction and Characterization of Cellulose from Sugarcane Bagasse by Using Environmental Friendly Method. *The 26th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference*, Thailand, 26-29 November 2014.

Shafeeyan, M. S., Daud, W. M. A. W., Houshmand, A., dan Shamiri, A. (2010). A review on surface modification of activated carbon for carbon dioxide

adsorption. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 89(2), 143–151.

Sunardi, S., dan Rosleini, R. P. Z. (2011). Pemanfaatan Serbuk Besi Untuk Penurunan Krom(VI) Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Ekosains*, 3(3), 22-23.

Xing, W., Li, X., Zhou, J., dan Zhuo, S. P. (2011). Nanoporous Carbon Derived from Risk Husk for Electrochemical Capacitor Application. *Advance Material. Research*, 239-242, 2102-2106.

Yang, J., Yu, M., dan Chen, W. (2015). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by activated carbon prepared from longan seed: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 414–422.

Yokoyama, S. (2008). *The Asian Biomass Handbook*. Japan: The Japan Institute of Energy.