

Artikel Riset

Sintesis dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Bagasse Sebagai Adsorben Logam Berat Cu(II)

Adhi Setiawan^{1*}, Jihan Nabillah Hanun¹, Ahmad Erlan Afiuddin¹¹ Prodi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111* Penulis korespondensi, e-mail: adhstw23@gmail.com

Abstrak

Kandungan silika yang relatif tinggi pada abu bagasse dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan zeolit. Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat pada pengolahan limbah cair industri. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis zeolit dari abu bagasse serta mengaplikasikan zeolit sebagai adsorben logam Cu(II) di dalam reaktor sistem kontinyu. Pengaruh waktu kontak, ukuran zeolit, serta konsentrasi larutan Cu(II) terhadap efisiensi penyisihan logam telah dipelajari pada penelitian ini. Sintesis zeolit dilakukan menggunakan metode hidrotermal pada suhu 100°C selama 7 jam. Zeolit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX, XRD, FTIR, dan BET. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan reaktor kontinyu dengan laju alir 0,4 L/menit serta dialirkan selama 60 menit dengan pengambilan sampel setiap interval waktu 15 menit. Ukuran zeolit yang digunakan yaitu 100 dan 200 mesh. Hasil analisis SEM-EDX menunjukkan bahwa zeolit memiliki morfologi tidak teratur serta mengandung Si sebesar 35,15%. Hasil XRD menunjukkan bahwa kristalinitas zeolit relatif rendah. Luas permukaan spesifik zeolit pada ukuran 100 mesh dan 200 mesh masing-masing sebesar 439,48 m²/g dan 697,76 m²/g. Hasil pengujian adsorpsi limbah Cu(II) terbaik diperoleh pada kondisi zeolit dengan ukuran partikel 200 mesh, konsentrasi air limbah Cu(II) 25 mg/L, dan waktu operasional 60 menit dengan efisiensi penyisihan Cu(II) sebesar 41,57%.

Kata Kunci: abu bagasse tebu, hidrotermal, zeolit

Abstract

The relatively high silica content in bagasse ash can be used as raw material for making zeolite. Zeolite can be used as a heavy metal adsorbent in industrial wastewater treatment. This study aims to synthesize zeolite from bagasse ash and to apply zeolite as an adsorbent of Cu(II) in a continuous system reactor. The effects of contact time, zeolite size, and concentration of Cu(II) solution on the removal efficiency of metals have been studied in this research. Synthesis of zeolite was carried out using the hydrothermal method at 100°C for 7 hours. The synthesized zeolite was characterized using SEM-EDX, XRD, FTIR, and BET. The adsorption process was carried out using a continuous reactor with a flow rate of 0.4 L/min and flowed for 60 minutes with sampling at 15 minute intervals. The zeolite size used were 100 and 200 mesh. The results of SEM-EDX analysis showed that Zeolite has an irregular morphology and contains Si at 35.15%. The XRD results show that the zeolite crystallinity is relatively low. The specific surface area of zeolite at size 100 mesh and 200 mesh were 439.48 m²/g and 697.76 m²/g respectively. The best Cu(II) waste adsorption test results were obtained under zeolite conditions with a particle size of 200

mesh, concentration of Cu(II) wastewater of 25 mg/L, and an operational time of 60 minutes with a removal efficiency of Cu(II) of 41.57%

Keywords: sugarcane bagasse ash, hydrothermal, zeolite

1. Pendahuluan

Abu *Bagasse* merupakan jenis limbah padat yang dihasilkan oleh industri penggilingan tebu serta diklasifikasikan sebagai bahan beracun dan berbahaya (B3). Abu *bagasse* dihasilkan oleh pembakaran ampas tebu di dalam boiler sebagai sumber pembangkit tenaga listrik dan uap. Limbah tersebut dihasilkan dengan jumlah yang cukup melimpah namun sampai saat ini belum dapat dimanfaatkan secara optimal (Balakrishnan dan Batra, 2011). Pemanfaatan abu *bagasse* saat ini hanya sebatas digunakan sebagai bahan baku pembuatan genteng, batu bata, atau sejenisnya. Jumlah *bagasse ash* yang dihasilkan dari hasil proses pembakaran boiler tersebut masih lebih besar dibandingkan dengan jumlah yang dimanfaatkan. Kandungan kuarsa yang relatif tinggi pada abu *bagasse* berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber silikon. Penggunaan metode ekstraksi fusi alkali memungkinkan pelarutan partikel kuarsa serta digunakan sebagai sumber silikon untuk mensintesis bahan berbasis silika seperti halnya zeolit (Moises dkk., 2013). Sintesis zeolit menggunakan *biowaste* sebagai sumber Si dan Al dapat diaplikasikan sebagai penukar kation atau penyisihan logam berat yang terkandung di dalam air limbah (Asl dkk., 2018).

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat dengan struktur tiga dimensi berbentuk tetrahedron dengan komposisi Si dan Al yang dibatasi oleh atom oksigen. Adanya Al di dalam kerangka zeolit menghasilkan muatan bersih negatif sehingga berpotensi digunakan sebagai penukar ion positif. Zeolit memiliki struktur mikro yang berpori dengan luas permukaan yang tinggi sehingga memiliki sifat adsorpsi serta sifat katalitik yang relatif baik (Nibou dkk., 2010). Dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik dan limbah biomassa telah dilaporkan sebagai prekursor pembuatan zeolit (Belviso dkk., 2018). Beberapa prekursor yang seringkali digunakan sebagai sintesis zeolit antara lain abu terbang batu bara, erionit ZSM-18, kalsilit, analsit, hidro sodalit (Goscianska dkk., 2018). Saceda dkk. (2011) melaporkan bahwa penggunaan sekam padi sebagai prekursor menghasilkan partikel zeolit dengan karakteristik kinetika adsorpsi yang cepat serta kapasitas penyisihan yang tinggi.

Penggunaan zeolit sebagai media adsorben logam berat di dalam air limbah cukup meningkat beberapa tahun terakhir. Banyak logam berat beracun telah dibuang ke lingkungan dalam bentuk limbah industri sehingga menyebabkan pencemaran tanah dan air yang serius. Logam Cd, Cu, Ni, Pb dan Zn merupakan logam yang cenderung terakumulasi dalam organisme serta menyebabkan berbagai penyakit dan gangguan kesehatan (Shaheen dkk., 2012). Pada umumnya logam berat bersifat mudah larut di dalam air serta dapat diserap oleh makhluk hidup sebagai bagian dalam rantai makanannya. Beberapa jenis logam berat (Cu, Co, Fe, V, Sr, Mn, dan Zn) diterima dalam konsentrasi yang relatif kecil untuk makhluk hidup namun pada konsentrasi yang tinggi menyebabkan kerusakan sel (Visa dan Popa, 2015).

Penggunaan zeolit sebagai adsorben logam berat cukup efektif dibandingkan dengan metode presipitasi kimia, flotasi, flokulasi, sedimentasi, oksidasi-reduksi, dan reverse osmosis. Bahkan metode tersebut kurang ekonomis apabila diaplikasikan pada industri kecil atau menengah di daerah pedesaan atau negara berkembang. Metode adsorpsi telah dilaporkan sebagai metode yang umum dan efektif untuk menghilangkan logam berat pada konsentrasi yang sangat rendah. Penggunaan produk limbah pertanian sebagai prekursor zeolit menjadi alternatif baru untuk pengolahan air limbah untuk industri kecil atau menengah. Beberapa kelebihan proses adsorpsi zeolit antara lain proses adsorpsi tidak meninggalkan lumpur dan secara sempurna dapat menyerap zat yang ingin dipisahkan dari suatu larutan serta harganya murah (Velmurugan dkk., 2011).

Penggunaan zeolit di dalam bidang industri seringkali dimanfaatkan sebagai adsorben dalam pemurnian air dan gas, katalis hidrogenasi, alkalisasi, isomerisasi, penyerap kontaminan seperti logam berat, gas beracun, pewarna, dan polutan organik (Das dkk., 2013). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan zeolit sebagai material adsorben. Santasnachok dkk. (2014) mensintesis zeolit dari abu sekam padi sebagai adsorben logam berat Cd (II) dalam industri pertambangan Zn. Kapasitas penyisihan Cd (II) maksimum yang diperoleh dari zeolit Na-A dan Na-X masing-masing sebesar 736,38 dan 684,46 mg/g. Shawabkeh dkk. (2004) menggunakan abu bekas *shale oil* sebagai bahan zeolit untuk menyerap kandungan Cd (II) di dalam air limbah. Poh-Ng dkk. (2017) menggunakan batang tanaman bambu sebagai bahan sintesis zeolit serta mempelajari pengaruh kondisi proses seperti waktu kristalisasi, laju pemanasan, komposisi molar gel terhadap fase kristal, morfologi, dan ukuran kristal zeolit. Penelitian sebelumnya lebih banyak mempelajari tentang sintesis zeolit dari abu sekam serta pemanfaatannya sebagai adsorben logam Cd (II) dengan operasi secara batch. Informasi tentang karakteristik zeolit yang disintesis dari abu *bagasse* serta pemanfaatannya sebagai adsorben logam Cu (II) dengan operasi kontinyu belum dijelaskan secara mendetail pada penelitian sebelumnya. Tujuan penelitian ini untuk melakukan sintesis dan karakterisasi zeolit dari *Bagasse ash* serta mengetahui pengaruh ukuran zeolit dan konsentrasi awal limbah terhadap kinerja reaktor adsorpsi kontinyu dalam menurunkan kandungan logam berat Cu (II) di dalam air limbah.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain *bagasse ash* (abu ampas tebu) yang diperoleh dari Pabrik Gula Gempolkrep Mojokerto, serbuk $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck), Na-dietilkarbamat (Merck), NaOH (Merck), larutan natrium silikat (Merck), dan aquades. Alat yang digunakan pada sintesis zeolit antara lain reaktor adsorpsi berbentuk silinder dengan volume 1,2 L yang berisi 50 gram adsorben, *furnace*, oven, ayakan 100 dan 200 mesh, *hot plate* dan *magnetic stirrer*, peralatan X-Ray Diffraction (XRD) X'Pert RINT 2200 V Philip CuK α ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$), Scanning Electron Microscope (SEM) (Inspect S50) dan Fourier Transform Infrared (FTIR) (Thermo Scientific Nicolet iS10), dan Brunauet Emmet-Teller (BET) analyzer (Quantachrome Instrument Version 11), Spektrofotometer UV-Vis (Agilent Cary 60).

2.2. Preparasi Sampel

Abu layang dihaluskan menggunakan lumpang porselen untuk memperoleh butiran halus abu ampas tebu. Abu layang diayak dengan menggunakan ayakan dengan ukuran 100 dan 200 mesh. Abu layang selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 2 jam.

2.3. Sintesis Zeolit

Abu layang sebanyak 200 g campur dengan padatan NaOH dengan perbandingan massa 1:5. Campuran abu layang dan NaOH selanjutnya dihaluskan di dalam cawan porselin selama 15 menit. Campuran tersebut selanjutnya ditambahkan dengan 50 mL aquadest dan diaduk hingga tercampur merata dan selanjutnya dikeringkan pada suhu 100 °C selama 30 menit. Sampel tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam krus nikel dan dipanaskan di dalam *furnace* pada suhu 550°C selama 60 menit dan didinginkan menggunakan desikator sampai tercapai suhu ruangan.

Abu layang hasil peleburan dengan NaOH dimasukkan dalam bejana teflon, kemudian ditambahkan natrium silikat (Na_2SiO_3) sebanyak 80 ml dan akuades sebanyak 120 ml. Hasil campuran tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan suhu 85°C dan proses secara hidrotermal di dalam autoklaf pada suhu 100°C dan tekanan 12 psi selama 7 jam. Padatan hasil hidrotermal dipisahkan dengan kertas saring dan dibilas dengan akuades hingga pH nya netral. Sampel selanjutnya dikeringkan di dalam oven pada suhu 100 °C selama 2 jam.

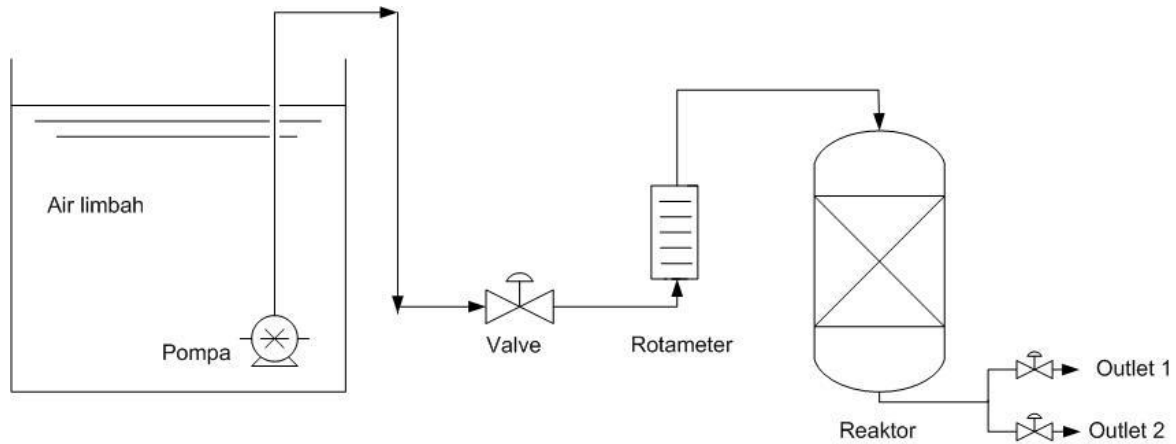
2.4. Karakterisasi Material

Pengujian morfologi partikel zeolit menggunakan metode SEM yang dioperasikan pada 20 kV. Derajat kristalinitas partikel dianalisis menggunakan metode XRD. Struktur kimia yang mengindikasikan

gugus fungsi dianalisis menggunakan metode FTIR pada bilangan gelombang 4000–400 cm⁻¹. Luas permukaan spesifik partikel zeolit dianalisis menggunakan metode BET.

2.5. Adsorpsi Cu(II) dengan Zeolit Sintesis

Gambar 1 menunjukkan set up dari pengujian adsorpsi logam Cu (II). Sebanyak 50 gram zeolit dimasukkan ke dalam reaktor dan dialiri air limbah yang mengandung logam Cu (II) dengan debit 0,4 liter/menit. Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi logam Cu (II), ukuran zeolit, serta waktu operasi adsorpsi. Konsentrasi logam Cu (II) yang digunakan antara lain 25 mg/L dan 50 mg/L. Ukuran zeolit yang digunakan yaitu sebesar 100 mesh dan 200 mesh dengan waktu operasi adsorpsi sebesar 0, 15, 30, 45, dan 60 menit.



Gambar 1. Peralatan pengujian adsorpsi logam Cu (II)

2.6. Analisis Konsentrasi Cu (II) Air Limbah

Analisis konsentrasi air limbah dengan kandungan Cu setelah proses adsorpsi menggunakan metode spektrofotometri (Setiawan dkk., 2019; Pratiwi dan Sunarto, 2018). Pembuatan larutan standar sebagai kalibrasi menggunakan larutan Cu (II) 25 mg/L. Labu takar 50 mL sebanyak 6 buah diisi larutan Cu (II) 25 mg/L dengan volume masing-masing sebesar 2, 4, 6, 8, dan 10 mL. Larutan tersebut selanjutnya ditambahkan 5 mL NH₄OH 5%, 5 mL sodium dietilditiokarbamat 1% serta diencerkan menggunakan aquadest hingga batas. Analisis konsentrasi Cu (II) setelah adsorpsi dilakukan menggunakan metode yang sama seperti halnya kalibrasi. Efisiensi removal logam Cu (II) setelah adsorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

$$\% \text{ Removal Cu} = \frac{[\text{Cu}]_{\text{awal}} - [\text{Cu}]_{\text{akhir}}}{[\text{Cu}]_{\text{awal}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

[Cu]_{awal} = konsentrasi logam Cu(II) sebelum adsorpsi (mg/L)

[Cu]_{akhir} = konsentrasi logam Cu(II) setelah adsorpsi (mg/L)

Kapasitas adsorpsi zeolit dengan proses kontinyu dapat dihitung dengan persamaan Thomas (2) berikut (Silvia dkk., 2017):

$$\ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) = \frac{K_{Th} q_0 X}{Q} - K_{Th} C_0 t \quad (2)$$

Keterangan:

K_{Th} = konstanta Thomas (L/mg/menit)

q₀ = kapasitas adsorpsi (mg/g)

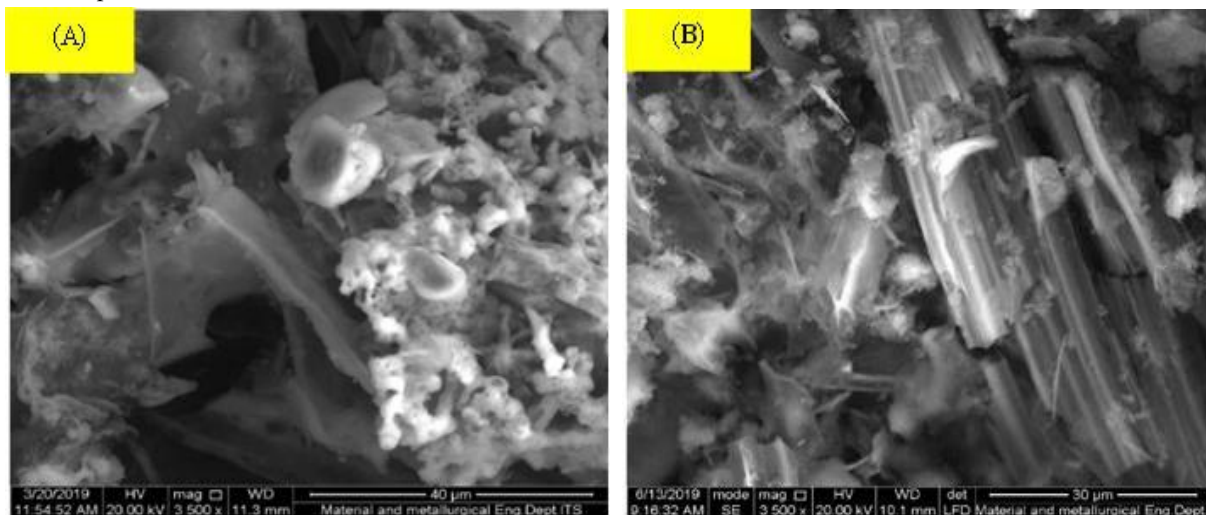
- X = massa adsorben (g)
 Q = laju alir (L/menit)
 t = waktu operasi (menit)
 C_t = konsentrasi limbah setelah waktu t (mg/L)
 C_o = konsentrasi awal limbah (mg/L)

Besarnya parameter q_0 dan K_{Th} diperoleh dari fitting parameter antara data t vs $\ln\left(\frac{C_o}{C_t} - 1\right)$.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi Zeolit

Gambar 2 menunjukkan morfologi dari partikel abu *bagasse* dan zeolit yang disintesis menggunakan proses hidrotermal. Hasil analisis menunjukkan bahwa morfologi abu *bagasse* tanpa aktivasi tidak teratur sedangkan morfologi abu *bagasse* yang telah teraktivasi melalui proses hidrotermal lebih didominasi oleh partikel-partikel berbentuk *fibrous* dengan struktur yang berpori. Abu *Bagasse* tersusun dari fase gelas *non crystalline* dengan struktur longgar dan memiliki partikel permukaan yang halus karena permukaannya ditutupi oleh fase gelas aluminosilikat. Hasil penelitian yang serupa juga telah dilaporkan oleh Oliveira dkk. (2019) yang menunjukkan bahwa zeolit yang telah disintesis melalui proses hidrotermal dari abu *bagasse* dengan suhu kalsinasi 600 °C selama 4 jam dengan konsentrasi NaOH 3,5 mol/L juga cenderung menghasilkan morfologi yang tidak teratur dan bersifat *porous*.



Gambar 2. SEM dari (a) abu *bagasse* (b) zeolit

Tabel 1 menunjukkan EDX dari abu *bagasse* sebelum proses aktivasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi unsur yang terkandung didalam abu *bagasse* terdiri dari unsur Si dengan komposisi sebesar 31,93% wt sedangkan unsur Al hanya memiliki komposisi sebesar 4,03% wt.

Tabel 1. Komposisi EDX abu *bagasse* dan zeolit

Unsur	Komposisi (%wt)	
	Abu <i>Bagasse</i>	Zeolit
Si	31,93	35,15
O	39,46	9,52
C	19,46	40,52
Al	4,03	2,76
K	2,82	6,88
Ca	2,30	5,17

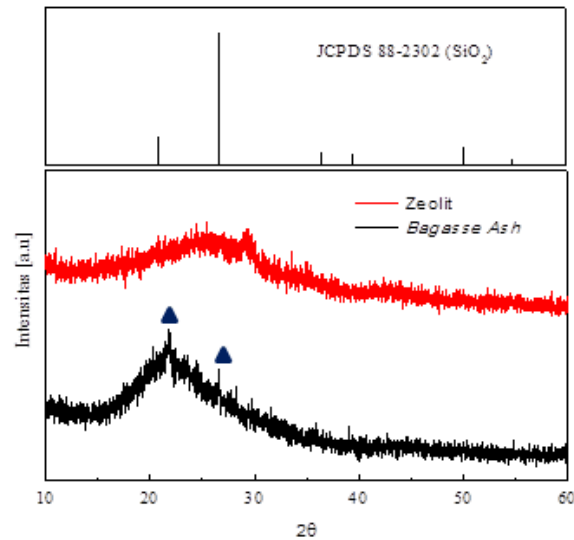
Analisis EDX menunjukkan komposisi atom oksigen dalam abu *bagasse* terbesar dibandingkan dengan unsur yang lain yakni sebesar 39,46%wt. Hal tersebut mengindikasikan bahwa unsur-unsur Al, Si maupun unsur logam lainnya di dalam abu *bagasse* berbentuk senyawa oksida. Komposisi-komposisi kimia yang terkandung dalam *bagasse ash* ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Purnomo dkk. (2012) yang menunjukkan bahwa *bagasse ash* memiliki kandungan SiO₂, K₂O, CaO, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, dan C. Dengan adanya kandungan Si yang relatif tinggi maka abu *bagasse* berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan zeolit. Hal ini sesuai dengan penelitian Sriatun dkk. (2018) yang melaporkan bahwa abu *bagasse* dengan persentase berat Si > 16,6% dapat dimanfaatkan sebagai zeolit sintesis. Hasil analisis komposisi unsur pada tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan Si pada zeolit lebih besar yang dibandingkan dengan abu *bagasse*. Hal ini disebabkan penambahan senyawa natrium silikat pada proses sintesis zeolit. Selain itu, penambahan larutan basa NaOH proses aktivasi dapat mengubah komposisi *bagasse ash* dengan cara merusak lapisan luar sehingga silika dan alumina yang ada dalam *bagasse ash* dapat keluar ke permukaan dan menyebabkan terjadinya perubahan komposisi unsur yang terkandung dalam *bagasse ash* (Goni dkk., 2003).

Tabel 2 menunjukkan bahwa *bagasse ash* teraktivasi (zeolit sintesis) memiliki luasan permukaan yang lebih besar jika dibandingkan dengan *bagasse ash* sebelum dilakukan aktivasi. Perbedaan luas permukaannya mencapai lima kali lipat pada ukuran partikel 100 mesh, dan dua kali lipat pada ukuran partikel 200 mesh. Luas permukaan zeolit maksimal terjadi pada ukuran partikel 200 mesh yakni sebesar 697,76 m²/g. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan hidrotermal memiliki pengaruh besar terhadap peningkatan luas permukaan spesifik zeolit sintesis. Ojha dkk. (2004) dalam penelitian mempelajari pengaruh waktu hidrotermal terhadap luas permukaan zeolit yang disintesis dari fly ash. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas permukaan zeolit meningkat secara gradual dengan meningkatnya waktu hidrotermal pada suhu reaksi 90°C. Hasil waktu optimum yang diperoleh dari penelitian tersebut yaitu sebesar 6 jam dengan hasil luas permukaan spesifik sebesar 375 m²/g. Menurut Zulichatun dkk. (2015), luas permukaan zeolit dipengaruhi oleh ukuran partikel/pori, bentuk pori, dan susunan pori dalam partikel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan partikelnya. Selain itu, penurunan ukuran adsorben menyebabkan peningkatan volume pori dan diameter pori. Hal itu cenderung menyebabkan peningkatan kapasitas adsorpsi zeolit terhadap logam berat.

Tabel 2. Luas permukaan spesifik *bagasse ash* dan zeolit

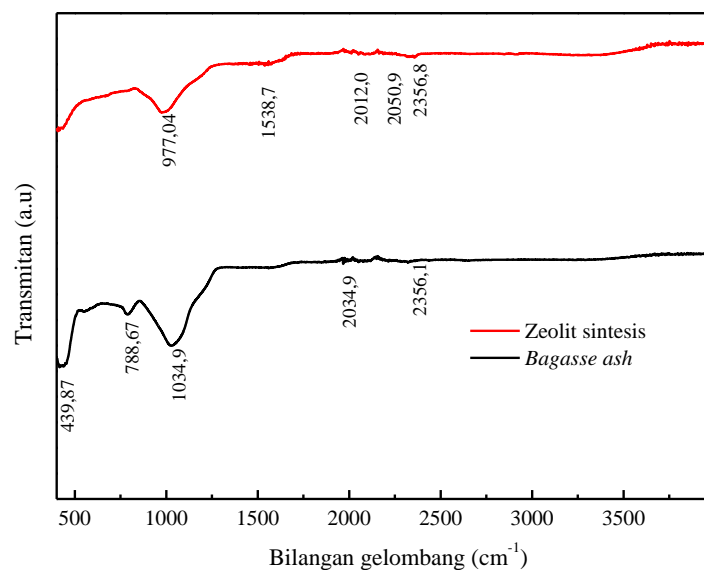
Ukuran Partikel (mesh)	Material	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (cc/g)	Diameter Pori (nm)
100	<i>Bagasse ash</i>	80,10	2,26	112,71
	Zeolit	439,48	9,01	94,11
200	<i>Bagasse ash</i>	382,99	257,33	2340,37
	Zeolit	697,76	490,57	2812,22

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil XRD *bagasse ash* dengan zeolit. Hasil XRD menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan pada bentuk puncak yang dihasilkan. Difaktogram zeolit hasil sintesis pada kondisi rasio NaOH/*bagasse ash* 1:1,5 menunjukkan adanya 2 puncak tertinggi pada sudut 2θ 20,82° dan 26,62°. Kedua puncak ini merupakan puncak untuk mineral kuarsa atau SiO₂ berdasarkan JCPDS No. 88-2302.



Gambar 3. XRD bagasse ash dan zeolit

Kristalinitas yang dihasilkan zeolit sintesis secara keseluruhan masih rendah. Hal ini ditunjukkan dari intensitas puncak-puncak difraktogram yang masih kecil/rendah. Penurunan kristalinitas ini dapat diakibatkan karena kurangnya waktu dan tinggi suhu dalam proses pemanasan setelah proses reaksi hidrotermal. Hasil yang serupa dilaporkan oleh Yu dkk. (2016) mensintesis zeolit menggunakan *fly ash* pada suhu hidrotermal sebesar 110°C selama 24 jam. Hasil XRD menunjukkan bahwa kristalinitas partikel zeolit tersebut masih relatif rendah atau bersifat amorf. Penambahan beberapa senyawa kimia dan proses hidrotermal terhadap zeolit sintesis dalam proses aktivasi menyebabkan munculnya puncak pada beberapa bilangan gelombang baru yaitu pada $1538,71\text{ cm}^{-1}$ dan $977,04\text{ cm}^{-1}$. Interpretasi spektra zeolit sintesis dapat disajikan pada Tabel 3. Pada bilangan gelombang pada bilangan $2356,12\text{ cm}^{-1}$, $2034,99\text{ cm}^{-1}$, dan $2012,01\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus-gugus Si-H dalam zeolit sintesis (Moises dkk., 2013). Pita serapan OH terkait dengan getaran deformasi molekul air yang teradsorpsi dalam saluran zeolit juga muncul pada bilangan gelombang $1538,71\text{ cm}^{-1}$ (Moises dkk., 2013). Pita serapan yang kuat pada bilangan gelombang $977,04\text{ cm}^{-1}$ dapat menunjukkan adanya kemunculan dari fase zeolit A sesuai dengan peregangan asimetris O-Si-O (Purnomo dkk, 2012).



Gambar 4. Spektra FTIR bagasse ash dan zeolit

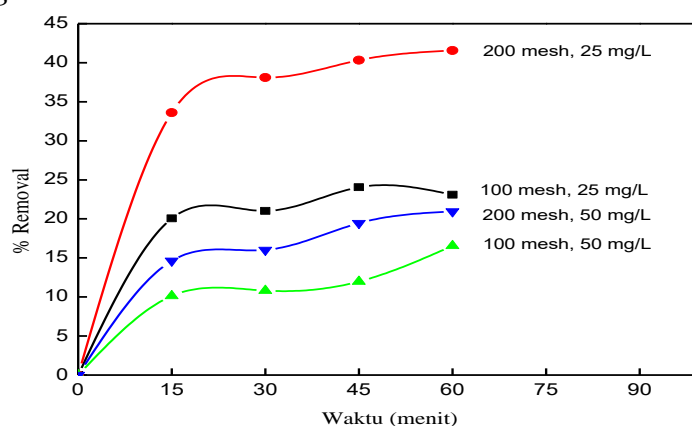
Tabel 3. Interpretasi Spektra FTIR

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsional
2356,89	Gugus Si-H
2050,90	
2012,01	
1538,71	Serapan regangan ikatan -OH
977,04	Serapan rentangan O-Si-O asimetri

3.2. Adsorpsi Zeolit Terhadap Logam Cu(II)

Gambar 5 menunjukkan efektifitas zeolit dalam mengadsorpsi logam Cu (II). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu adsorpsi dari 0 sampai dengan 60 menit akan meningkatkan efisiensi removal logam Cu (II). Efisiensi removal terbaik terjadi pada zeolit sintesis dengan ukuran partikel 200 mesh pada konsentrasi Cu (II) sebesar 25 mg/L serta waktu operasional 60 menit. Hal tersebut dikarenakan zeolit sintesis pada ukuran partikel 200 mesh memiliki luas permukaan spesifik terbesar sebagaimana data pengujian BET pada tabel 2. Luas permukaan spesifik yang tinggi serta konsentrasi logam berat yang rendah menyebabkan peningkatan jumlah logam Cu (II) yang teradsorpsi. Hasil penelitian diperoleh efisiensi removal terbesar diperoleh pada ukuran zeolit 200 mesh dan konsentrasi Cu (II) sebesar 25 mg/L yaitu sebesar 41,57%. Hasil penelitian tersebut masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya sebagaimana data tersaji pada Tabel 5. Hal tersebut disebabkan perbedaan kondisi konsentrasi Cu (II) dan massa adsorben. Islamiyah dan Koestiari (2014) menggunakan karbon aktif granula untuk menurunkan kandungan logam Cu (II) pada air laut Kenjeran. Kondisi optimum diperoleh pada massa adsorben 1 g, waktu kontak 60 menit, serta konsentrasi Cu (II) 3,892 mg/L dengan perolehan efisiensi removal sebesar 98,38%. Amalia dkk. (2017) menggunakan karbon aktif tulang ayam sebagai adsorben logam Cu(II). Efisiensi removal optimum terjadi pada kondisi massa karbon aktif 0,5 g, waktu kontak 60 menit, serta konsentrasi Cu (II) sebesar 0,6 mg/L sehingga diperoleh nilai efisiensi removal sebesar 98%.

Tabel 4. menunjukkan parameter adsorpsi zeolit terhadap logam Cu (II) menggunakan Persamaan Thomas. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada ukuran zeolit yang berbeda dengan konsentrasi Cu (II) yang sama cenderung menghasilkan kapasitas adsorpsi yang tinggi pada ukuran zeolit yang terbesar. Hal tersebut disebabkan semakin kecil ukuran zeolit maka menyebabkan potensi agregasi partikel akan semakin besar sehingga dapat menutup sisi aktif adsorben dalam mengadsorpsi logam berat serta menurunkan kapasitas adsorpsi adsorben (Hossain dkk., 2012). Kapasitas adsorpsi maksimum diperoleh pada zeolit dengan ukuran 100 mesh dan konsentrasi Cu (II) sebesar 50 mg/L yaitu sebesar 80 mg/g.



Gambar 5. Adsorpsi zeolit terhadap logam Cu (II)

Tabel 4. Parameter Persamaan Thomas untuk Adsorpsi Logam Cu(II)

Ukuran Zeolit (mesh)	Konsentrasi (mg/L)	K_{Th} (L/mg/menit)	q_0 (mg/g)	R^2
100	25	$1,96.10^{-4}$	58,78	0,77
	50	$2,40.10^{-4}$	80,67	0,86
200	25	$3,00.10^{-3}$	20,27	0,93
	50	$2,08.10^{-4}$	74,23	0,97

Tabel 5. Perbandingan Kinerja Adsorpsi Cu(II) Dengan Beberapa Jenis Adsorben

Jenis Adsorben	Efisiensi Removal (%)
Zeolit hasil penelitian	41,57
Karbon aktif komersial (Islamiyah dan Koestiari, 2014)	98,38
Karbon aktif tulang ayam (Amalia dkk., 2017)	98

Hasil sebaliknya ditunjukkan pada zeolit sintesis dengan ukuran partikel 100 mesh dan konsentrasi air limbah 25 mg/L, dimana penurunan efisiensi removal terjadi pada waktu operasional 60 menit. Ariska dkk. (2013) melaporkan bahwa faktor yang dapat menyebabkan hasil adsorpsi mengalami penurunan yaitu adanya kandungan logam berat didalam adsorben itu sendiri sehingga proses penyerapan logam terhambat sehingga pada akhirnya adsorben mengalami kejenuhan. Nilai efisiensi removal dipengaruhi oleh konsentrasi Cu (II) di dalam air limbah. Hal ini disebabkan perbedaan pH pada masing-masing konsentrasi limbah Cu (II) yang digunakan. Limbah Cu (II) dengan konsentrasi 25 mg/L dan 50 mg/L masing-masing memiliki pH 6 dan 5. Adsorpsi pada pH mendekati netral menghasilkan efisiensi removal ion logam lebih tinggi dibandingkan adsorpsi pada pH asam. Perbedaan keasaman antara permukaan adsorben dan larutan mempengaruhi proses adsorpsi. Hal ini disebabkan pada pH yang rendah terdapat kelebihan proton yang menghalangi adsorpsi logam Cu (II) akibat persaingan antara ion H^+ dengan Cu (II) (Oliveira dkk., 2019).

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu *bagasse* dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan zeolit karena memiliki kandungan silika yang relatif tinggi yaitu sebesar 31,93%. Sintesis zeolit dari abu *bagasse* menggunakan proses hidrotermal pada suhu $100^{\circ}C$ bertekanan 12 psi dengan waktu 7 jam menghasilkan zeolit dengan komposisi silika sebesar 35,15% serta morfologi yang tidak teratur. Hasil XRD menunjukkan bahwa zeolit yang disintesis memiliki tingkat kristalinitas yang rendah (amorf). Proses hidrotermal abu *bagasse* menyebabkan peningkatan luas permukaan partikel. Pengujian BET menunjukkan bahwa zeolit dengan ukuran 200 mesh memiliki luas permukaan spesifik terbesar dibandingkan dengan zeolit berukuran 100 mesh yaitu sebesar $697,76 \text{ m}^2/\text{g}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran zeolit dan konsentrasi logam Cu (II) maka akan menghasilkan efisiensi removal logam yang relatif tinggi. Efisiensi removal logam Cu (II) tertinggi diperoleh pada kondisi ukuran zeolit 200 mesh, konsentrasi logam Cu (II) 25 mg/L, dan waktu operasi 60 menit yaitu sebesar 41,57%. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan adsorpsi kontinyu Thomas menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi zeolit maksimum terjadi pada ukuran zeolite 100 mesh dengan konsentrasi awal Cu (II) sebesar 50 mg/L yaitu sebesar 80 mg/g.

Daftar Pustaka

Amalia, V., Layyinah, F., Zahara, F., & Hadisantoso, E.P. 2017. Potensi pemanfaatan Arang Tulang Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Cu dan Cd. *Al-Kimiya*, 4(1), 31-37.

- Ariska, D., Hadiwidodo, M., & Wardhana, I.W. 2013. Pemanfaatan Residu Bahan Bakar Batu Bara (Bottom Ash) Sebagai Adsorben Zat Warna Reaktif Dan Logam Berat (Cu dan Ni) dari Limbah Cair Tekstil Dengan Reaktor Sistem Kontinyu (Studi Kasus: Limbah Cair PT. APAC Inti Corpora). Institutional Repository Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Asl, S.M.H., Javadian, H., Khavarpour, M., Belviso, C., Taghavi, M., & Maghsudi, M. 2019. Porous Adsorbents Derived from Coal Fly Ash as Cost-Effective and Environmentally-Friendly Sources of Aluminosilicate for Sequestration of Aqueous And Gaseous Pollutants: A Review. *Journal Clean Production*, 208, 1131-1147.
- Balakrishnan, M., & Batra, V.S. 2011. Valorization of Solid Waste in Sugar Factories with Possible Applications in India: A Review. *Journal of Environmental Management*, 92(11), 2886-2891.
- Belviso, C. 2018. State of The Art Applications of fly Ash From Coal and Biomass: A Focus on Zeolite Synthesis Processes and Issues. *Progress in Energy Combustion Science*, 65, 109-135.
- Das, G., Pradhan, N.C., Madhu, G.M., & Preetham, H.S. 2013. Removal of Cadmium from Aqueous Streams by Zeolites Synthesized from Fly Ash. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4, 410-419.
- Goni, S., Guerrero, A., Luan, M.P., & Macias, A. 2003. Activation of The Fly Ash Pozzolan Reaction By Hydrothermal Condition. *Chemistry Concrete Research*, 33, 1399-1405.
- Goscianska, J., Ptazkowska-Koniarz, M., Frankowski, M., Franus, M., Panek, R., & Franus, W. 2018. Removal of Phosphate from Water by Lanthanum-Modified Zeolites Obtained from Fly Ash. *Journal of Colloid and Interface Science*, 513, 72-81.
- Hossain, M.A., Ngo, H.H., Guo, W.S., & Nguyen, T.V. 2012. Removal of Copper from Water by Adsorption onto Banana Peel as Bioadsorbent. *International Journal of Geomate*. 2(2), 227-234.
- Islamiyah, S.N., & Koestiari, T. 2014. Penggunaan Karbon Aktif Granula Sebagai Adsorben Logam Cu(II) di Air Laut Kenjeran, *Journal of Chemistry*, 3(2), 164-169.
- Moises, M.P., da Silva, C.T.P., Meneguín, J.G., Girotto, E.M., Radovanovic, E. 2013. Synthesis of Zeolite NaA from Sugarcane Bagasse Ash. *Materials Letters*, 108, 243-246.
- Nibou, D., Mekatel, H., Amokrane, S., Barkat, M., & Trari, M. 2010. Adsorption of Zn²⁺ Ions onto NaA and NaX Zeolites: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3), 637-646.
- Ojha, K., Pradhan, N.C., dan Samanta, A.N. 2004. Zeolite from Fly Ash: Synthesis and Characterization. *Bulletin of Materials Science*, 27(6), 555-564.
- Oliveira, J.A., Cunha, F.A., & Ruotolo, L.A.M. 2019. Synthesis of Zeolite from Sugarcane Bagasse Fly Ash and Its Application as a Low-Cost Adsorbent to Remove Heavy Metals. *Journal of Cleaner Production*, 229, 956-963.
- Poh Ng, E., Hao Chow, J., Mukti, R.R., Muraza, O., Ling, T.C., & Wong, K.L. 2017. Hydrothermal Synthesis of Zeolite A from Bamboo Leaf Biomass and Its Catalytic Activity in Cyanoethylation of Methanol under Autogenic Pressure and Air Conditions. *Materials Chemistry and Physics*, 201, 78-85.
- Pratiwi, N.A., & Sunarto, S. 2018. Perbandingan Validasi Metode Analisis Ion Tembaga(II) Tanpa Pengompleks dan Dengan Pengompleks Na-Dietilditiokarbamat Secara Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Kimia Dasar*, 7(3), 96-105.
- Purnomo, W.C., Salim, C., & Hinode, H. 2012. Synthesis of Pure Na-X and Na-A Zeolite from Bagasse Fly Ash. *Microporous and Mesoporous Materials*, 162, 6-13.
- Saceda, J.J.F., de Leon, R.L., Rintramee, K., Prayoonpokarach, S., & Wittayakun, J. 2011. Properties of Silica from Rice Husk and Rice Husk Ash and Their Utilization for Zeolite Y Synthesis. *Quimica Nova*, 34(8), 1394-1397.

- Santasnachok, C., Kurniawan, W., Salim, C., & Hinode, H. (2014). The Utility of Rice Husk Ash from Biomass Power Plant: Synthesis of NaA and NaX Zeolites Using The Two Step Method Hydrothermal. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 1 (2), 75–81.
- Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. 2019. Biosorpsi Logam Berat Cu(II) Menggunakan Limbah *Saccharomyces Cerevisiae*. *Jurnal Presipitasi*, 16(1), 29–35.
- Shaheen, S.M., Derbalah, A.S., & Moghanm F.S. 2012. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Zeolite in Competitive Sorption System. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(4), 362–367.
- Shawabkeh, R., Al-Harashseh, A., Hami, M., & Khlaifat, A. 2004. Conversion of Oil Shale Ash into Zeolite for Cadmium and Lead Removal from Wastewater. *Fuel* 83, (7–8), 981–985.
- Sriatun, S., Taslimah, T., Suyati, L. (2018). Synthesis of Zeolite from Bagasse ash Using Cetyltrimethylammonium Bromide as Structure Directing Agent. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(1) 159–165.
- Sylvia, N., Meriatna, M., Hakim, L., Fitriani, F., Fahmi, A. 2017. Kinerja Kolom Adsorpsi Pada Penyerapan Timbal (Pb^{2+}) Dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(4), 185–190.
- Velmurugan, P., Kumar, V.R., & Dhinakaran, G. 2011. Dye Removal from Aqueous Solution Using Low Cost Adsorbent. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(7), 1492–1503.
- Visa, M. & Popa, N. 2015. Adsorption of Heavy Metals Cations onto Zeolite Material from Aqueous Solution. *Journal of Membrane Science and Technology*, 5(1), 1–8.
- Yu, J., Yang, Y., Chen, W., Xu, D., Guo, H., Li, K., & Liu, H. 2016. Synthesis and Application of Zeolitic Material from Fly Ash by One-Pot Method at Low Temperature. *Green Energy and Environment*, 1(2), 166–171.