

Sintesis dan Karakterisasi Kitosan-Silika dari Abu Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Cu(II)

(*Synthesis and Characterization of Chitosan-Silica from Bagasse Ash as Heavy Metal Adsorbent Cu (II)*)

Tiane Pawitra¹, Adhi Setiawan¹, Tarikh Azis Ramadani¹

¹ Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

ARTICLE INFO

Article history

Received : 08 Februari 2021

Revised : 28 Februari 2021

Accepted : 10 Maret 2021

DOI :

<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2267>

Keywords :

adsorption; bagasse ash; chitosan; ion Cu(II); silica

e-mail corresponding author :

tianepawitra98@gmail.com

ABSTRAK

Tingginya beban pencemaran logam berat Cu(II) di badan air dapat diatasi dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben. Abu ampas tebu dapat menjadi alternatif bahan baku pembuatan adsorben karena memiliki kandungan silika yang melimpah. Kelemahan dari silika adalah memiliki sifat keasaman yang rendah serta memiliki oksigen sebagai atom donor yang bersifat lemah. Hal ini menyebabkan kemampuan adsorpsi silika menjadi kurang baik. Dalam rangka memperbaiki sifat tersebut, maka dilakukan modifikasi dengan menggunakan kitosan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mensintesis serta mengkarakterisasi adsorben dari silika yang dimodifikasi dengan kitosan. Penelitian dilakukan untuk menganalisis dosis penambahan kitosan optimum dalam penurunan kandungan Cu(II) pada proses adsorpsi. Metode adsorpsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem *batch*, yaitu dengan memasukkan setiap adsorben pada larutan Cu(II) 50 ppm selama 50 menit. Dosis penambahan kitosan yang ditambahkan sebanyak 0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; dan 2 gram. Hasil XRD menunjukkan adsorben yang disintesis bersifat amorf. Analisis FT-IR menunjukkan munculnya gugus fungsi -OH, Si-O-Si, Si-OH, Si-O-C, -NH, dan NH₂. Uji BET menunjukkan bahwa adsorben memiliki luas area spesifik sebesar 2,33 m²/g. Morfologi dari silika berubah ketika dimodifikasi dengan kitosan dari yang sebelumnya adalah heterogen menjadi partikel-partikel besar yang teraglomerasi. Pada analisis EDX dapat diidentifikasi adanya unsur C, N, O, dan Si. Hasil penelitian menyatakan bahwa penambahan massa kitosan yang optimum adalah 2 gram dengan efisiensi *removal* logam berat Cu(II) sebesar 99,85%.

PENERBIT

UNITRI PRESS

Jl. Telagawarna, Tlogomas-
Malang, 65144, Telp/Fax:
0341-



This is an open access article under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License**. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA

ABSTRACT

The high concentration of Cu(II) in the water caused several diseases in human beings. It can be dealt with by the adsorption process using adsorbents. Bagasse ash can be an alternative raw material for making adsorbent due to its abundant silica content. The weakness of silica has low acidity and oxygen as a weak atomic donor. It causes a bad adsorption ability on the adsorbent. In order to improve those characteristics, modifications are needed, for example, by using chitosan. This research aims to synthesize and characterize the adsorbent from silica-chitosan. The research was conducted to analyze the optimum dosage of chitosan and reduce Cu(II) content in the adsorption process. The adsorption method used is a batch system by entering each adsorbent in a 50 ppm of Cu(II) solution for 50 minutes. The dosage of chitosan addition are 0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; and 2 gram. XRD results show that the synthesized adsorbent is amorphous. The presence of -OH, Si-O-Si, Si-OH, Si-O-C, -NH, and -NH₂ groups are shown in FT-IR analysis. BET analysis shows that the adsorbent has an area of 2,33 m²/g. The morphology of silica changes when modified with chitosan from a heterogeneous form into agglomerated large particles. EDX analysis can identify the elements of C, N, O, and Si. The results of the research stated that the addition of the chitosan mass optimum is 2 grams with the ability to remove heavy metals Cu(II) of 99,85%

Cara Mengutip : Pawitra, T., Setiawan, A., Ramadani, T. A. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Kitosan-Silika dari Abu Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Cu(II) . *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 6(1), 70-77. doi:<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2267>

1. PENDAHULUAN

Logam berat Cu(II) merupakan jenis logam yang banyak ditemukan diperairan. Pencemaran limbah logam berat Cu(II) dapat memberikan efek negatif ke lingkungan hidup jika tidak ditangani dengan bijak. Beberapa metode yang digunakan untuk mereduksi nilai logam berat dalam air limbah adalah *precipitation*, *electrodialysis*, *adsorption*, *advanced oxidation process*, *ion exchange* dan *reverse osmosis*[1]. Metode adsorpsi merupakan metode yang umum digunakan untuk mereduksi kandungan logam berat pada air limbah.

Abu ampas tebu adalah residu dari proses pembakaran pada unit *boiler* dalam industri gula yang memiliki komponen utama berupa silika (SiO_2). Silika mempunyai beberapa kelemahan diantaranya jenis situs aktif hanya berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Gugus ini memiliki sifat keasaman yang rendah dan juga memiliki oksigen sebagai atom donor yang sifatnya lemah. Namun, adanya gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) juga menguntungkan karena memungkinkan untuk dilakukan modifikasi dalam rangka memperbaiki sifat dan untuk perluasan pemanfaatan seperti pengaturan struktur, porositas, serta luas permukaan[2]. Senyawa yang dapat digunakan untuk modifikasi silika contohnya dengan kitosan.

Modifikasi silika menggunakan kitosan telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Campuran kitosan-silika dengan dosis kitosan 0,5 gram, mampu mereduksi ion timbal sebesar 100% [3]. Kombinasi antara silika-kitosan dan terbukti mampu menurunkan kadar logam berat kromium sebesar 73,3%, vanadium sebesar 35,87%, dan Molibdenum sebesar 90,6% [4]. Sintesis adsorben kitosan-silika dari pasir kuarsa dari Pulau Nusa Tenggara Timur juga mampu *removal* logam berat Cu(II) sebesar 99,3% [1].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan adsorben kitosan-silika dapat digunakan untuk mereduksi kandungan Cu(II). Penelitian ini mencari pengaruh penambahan kitosan pada sintesis kitosan-silika dan diaplikasikan sebagai adsorben pada proses adsorpsi logam berat Cu(II).

2. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *oven*, gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, *magnetic stirrer*, *hotplate*, corong, pHmeter, erlenmeyer, ayakan 100 mesh, pipet ukur, neraca analitik, kertas saring, lumpang porselen, desikator, FTIR merk SHIMADZU type IR-Prestige 21, XRD merk PANalytical type X'Pert po, SEM-EDX merk FEI type INSPECT S-50, dan *Surface area analyzer* merk St 2 on NOVA touch 4LX. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah abu ampas tebu, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 99% (Merck), CH_3COOH 100% (SAP), NaOH 98% (SAP), kitosan dengan derajat deasetilasi 94%, HCl 37% (SAP) dan akuades.

Abu ampas tebu dikeringkan dibawah sinar matahari selama 2 hari sampai kering kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Abu yang lolos ayakan direndam dalam HCl 1 M selama 12 jam dengan perbandingan 1:10 (b/v). Campuran tersebut disaring dan dicuci sampai pH 7. Padatan dikeringkan pada oven dengan temperatur 100 derajat celcius sampai massa konstan. Abu ampas tebu yang telah mengalami proses preparasi selanjutnya

dilarutkan pada larutan NaOH 2 M dengan perbandingan 1:6 (b/v) sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan *hot plate* dengan suhu 80 derajat celcius selama 1 jam. Campuran didinginkan pada suhu ruangan (± 25 derajat celcius) kemudian disaring. Filtrat yang terbentuk merupakan larutan natrium silikat[5].

Sebanyak 0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; dan 2 gram kitosan (SK0,5 ; SK1 ; SK1,5 ; SK2) secara terpisah dilarutkan ke dalam 80 ml larutan asam asetat 2% (v/v) lalu dilakukan pengadukan sampai homogen. Larutan natrium silikat 100 ml diteteskan secara bertahap ke dalam larutan kitosan dengan dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Campuran larutan tersebut didiamkan selama 18 jam kemudian dilakukan penyaringan dan dicuci menggunakan akuades sampai pH 7. Endapan yang terbentuk dikeringkan pada oven dengan suhu 105 derajat celcius sampai massa konstan yang kemudian ditumbuk dan diayak pada ayakan 100 mesh. Serbuk yang terbentuk merupakan adsorben kitosan-silika[6].

Proses adsorpsi diujikan dengan cara melakukan interaksi antara adsorben kitosan-silika sebanyak 0,8 gram dengan 200 ml air limbah artifisial logam berat Cu(II) 50 ppm. Adsorpsi dilakukan dengan waktu kontak selama 50 menit. Larutan disaring dan filtrat yang diperoleh diukur kandungan logam berat Cu(II)nya menggunakan AAS[1]. Hasil pengukuran digunakan untuk menghitung efektifitas dari adsorben. Perhitungan efisiensi penyisihan adsorben kitosan-silika akan dihitung menggunakan rumus yaitu:

$$\text{Efisiensi Penyisihan} = \frac{(C_0 - C_1)}{C_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

dengan,

C1 = Konsentrasi akhir (mg/L)

C0 = Konsentrasi awal (mg/L)

Adsorben pada hasil adsorpsi optimum akan dilakukan karakterisasi XRD untuk mengetahui kristalinitasnya, uji FTIR untuk mengetahui gugus fungsinya, SEM-EDX untuk mengetahui morfologi dan komposisi kimia adsorben, dan pengujian BET untuk menganalisis luas area spesifik dari adsorben.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

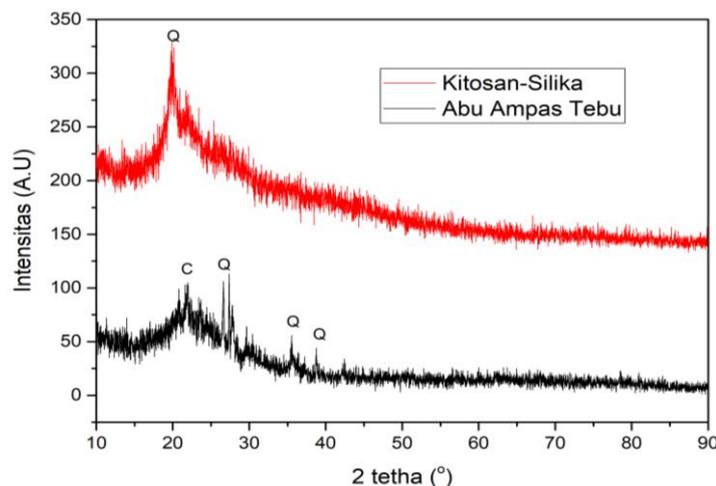
Tabel 1 menunjukkan pengaruh penambahan kitosan terhadap efisiensi penyisihan logam Cu(II). Pada Tabel 1 dapat dianalisis bahwa penambahan massa kitosan yang optimum terhadap kemampuan adsorpsi logam berat Cu(II) adalah massa kitosan 2 gram dengan efisiensi *removal* sebesar 99,85%. Penambahan kitosan bertujuan untuk memperbanyak situs aktif pada adsorben sebagai pereduksi logam berat. Meningkatnya massa kitosan yang ditambahkan pada silika menyebabkan efisiensi *removal* saat adsorpsi logam berat Cu(II) semakin meningkat pula. Hal ini terjadi karena jumlah gugus amina yang tinggi seiring dengan penambahan kitosan pada adsorben[7].

Tabel 1. Pengaruh kitosan terhadap efisiensi penyisihan logam berat Cu(II)

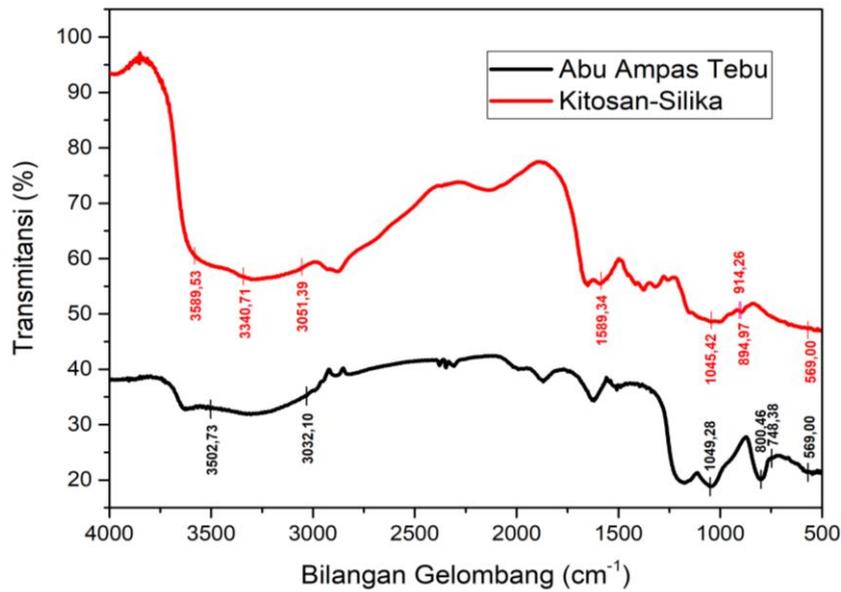
Jenis Adsorben	Efisiensi <i>Removal</i> (%)
Abu ampas tebu	47,36
SK0,5	99,33
SK1,0	99,65
SK1,5	99,83
SK2,0	99,85

Hasil pengujian XRD pada sampel abu ampas tebu dan adsorben kitosan-silika dapat dilihat pada Gambar 1. Pola difraksi abu ampas tebu menunjukkan bahwa terdapat puncak pada posisi $2\theta = 21,82^\circ$; $26,61^\circ$; $27,39^\circ$; $35,62^\circ$ serta puncak melebar diantara 20° - 22° . Silika dengan puncak melebar disekitar $2\theta = 22^\circ$ pada intensitas < 100 menunjukkan bahwa silika bersifat amorf atau tingkat kristalinitas rendah[3]. Hal ini menunjukkan bahwa sampel abu ampas tebu secara keseluruhan masih berfasa amorf. Silika dalam kondisi amorf dianggap lebih reaktif dibandingkan silika kristalin karena memiliki susunan atom dan molekul berbentuk pola acak dan tidak beraturan sehingga, membuat silika tersebut mudah untuk dilakukan sintesis[8]. Puncak $2\theta = 21,82^\circ$ merupakan puncak khas dari silika *crystoballite* menurut data ICDD PDF No. 39-1425. Puncak $2\theta = 26,61^\circ$ merupakan puncak dari silika *quartz* menurut data JCPDS 82-511. Beberapa *peak* yang terletak pada posisi 2θ lebih dari 35° merupakan silika yang terbentuk dengan fase *quartz*[9].

Difraktogram dari sampel adsorben kitosan-silika pada Gambar 1 menunjukkan adanya puncak melebar diantara 20° - 22° dengan puncak yang memiliki intensitas tinggi pada posisi $2\theta = 19,87^\circ$. Puncak ini merupakan puncak khas dari kitosan[10]. Pengujian pada kitosan-silika yang memiliki puncak melebar menunjukkan bahwa adsorben ini berada pada fasa amorf. Kristalinitas adsorben kitosan-silika mengalami penurunan secara alami. Penurunan kristalinitas ini terjadi karena menumpuknya rantai polimer kitosan, yang membuat interaksi antara silika dan kitosan menekan proses kristalisasi. Penurunan ini menunjukkan silika dan rantai polimer kitosan tercampur dengan baik pada tingkat molekuler[11]



Gambar 1. Perbandingan XRD abu ampas tebu dan adsorben kitosan-silika



Gambar 2. Perbandingan FTIR abu ampas tebu dan adsorben kitosan-silika

Gambar 2 menunjukkan hasil analisa FTIR antara abu ampas tebu dan adsorben kitosan-silika sedangkan perbandingan identifikasi vibrasi gugus atom berdasarkan Gambar 2 disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis menunjukkan munculnya gugus fungsi –OH, Si-O-Si, dan Si-OH pada sampel abu ampas tebu. Gugus fungsi –OH muncul akibat adanya gugus Si-OH serta ikatan intra-hidrogen dengan molekul air yang terserap. Gugus atom Si-O-Si dan Si-OH merupakan gugus aktif dari silika yang dapat membentuk rantai panjang SiO₄ dan ikatan antara silika dengan oksigen pada gugus –OH. Ikatan ini dipicu oleh pori-pori yang terbentuk oleh ikatan silika-oksigen antar molekul[3].

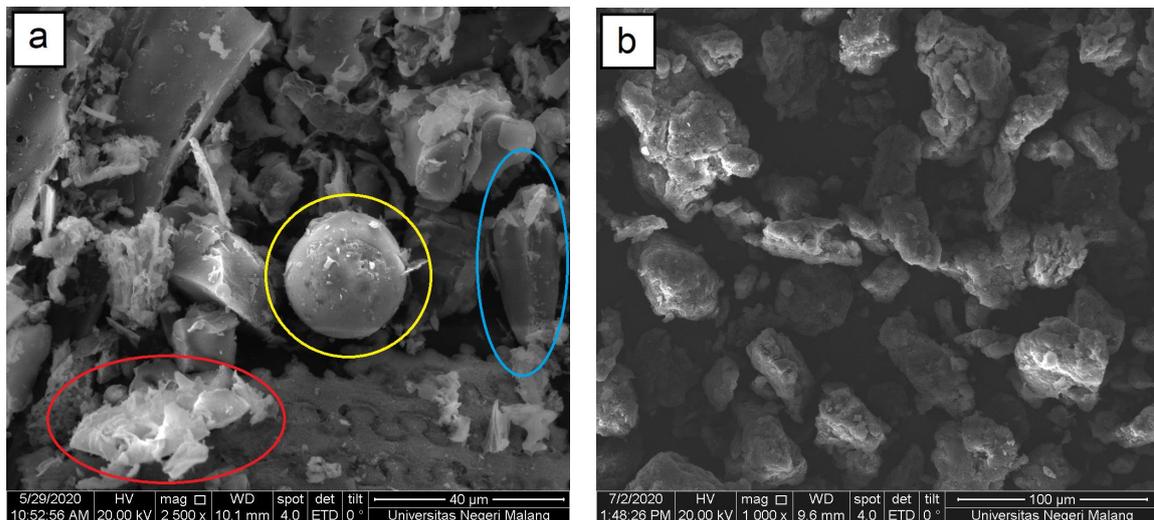
Hasil pengujian FTIR yang dilakukan pada adsorben kitosan-silika menunjukkan munculnya beberapa gugus fungsi yaitu gugus –OH, Si-O-Si, Si-OH, Si-O-C, –NH₂ dan –NH. Munculnya gugus amina (-NH₂ dan –NH) terjadi karena penambahan kitosan pada silika. Gugus atom –OH, Si-O, Si-O-Si dan –NH₂ merupakan situs aktif adsorben yang digunakan untuk melakukan adsorpsi pada logam berat[3].

Tabel 2. Identifikasi Vibrasi Gugus Abu Ampas Tebu dan Kitosan-Silika

Vibrasi Gugus	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Abu Ampas Tebu	Kitosan-Silika
Ulur asimetris Si-O-Si	1049,28	1045,42
Ulur simetris Si-O-Si	748,38	894,97
-OH	3502,73	3589,53
Si-O	800,46	914,26
Si-OH	3032,1	3051,39
-NH	-	3340,71
-NH ₂	-	1589,34
Si-O-C	569	569

Gambar 3 adalah gambar morfologi dari abu ampas tebu dan adsorben kitosan-silika. Lingkaran biru yang muncul pada gambar 3 (a) menunjukkan beberapa partikel yang berbentuk prisma dengan wujud yang tidak teratur dan memiliki permukaan yang relatif rata. Bentuk prisma tersebut merupakan bentuk representasi dari silika tetrahedral yang ada pada abu ampas tebu. Partikel berwujud tidak teratur juga dapat ditemukan seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran berwarna merah. Wujud ini mengindikasikan bahwa pembentukan kristalin pada abu ampas tebu belum sempurna sehingga menjadikan mereka berbentuk tidak teratur dan memiliki kristalinitas rendah[9]. Gambar 3(a) menunjukkan bahwa morfologi dari abu ampas tebu juga berbentuk butiran-butiran bulat dengan permukaan yang tidak beraturan dan berpori (lingkaran kuning)[12].

Morfologi sampel adsorben kitosan-silika pada Gambar 3 (b) memperlihatkan bahwa partikel-partikelnya tampak seperti butiran-butiran yang homogen. Butiran-butiran tersebut teraglomerasi dan membentuk kelompok partikel yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa kitosan dan silika telah berinteraksi satu sama lain [1].



Gambar 3. Hasil pengujian SEM sampel (a) abu ampas tebu dengan perbesaran 3500x dan (b) adsorben kitosan-silika dengan perbesaran 1000x (sumber : Pengujian pribadi)

Hasil pengujian EDX dari sampel abu ampas tebu dan kitosan silika dapat dilihat pada Tabel 3. Tanda keberhasilan dalam sintesis adsorben kitosan-silika pada penelitian ini adalah dengan munculnya kandungan C, N, O, dan Si yang merupakan unsur khas yang mengkonfirmasi bahwa kandungan silika dan kitosan sudah berikatan[7]. Pada hasil ini ditemukan bahwa kandungan unsur C memiliki nilai yang tinggi. Hal ini dikarenakan abu ampas tebu yang mengandung silika tidak mengalami pembakaran dengan sempurna pada saat berada pada unit *boiler*[13] dan tidak adanya perlakuan khusus di penelitian ini untuk mengurangi presentase kandungan unsur C.

Tabel 3. Identifikasi Komposisi Unsur Kimia

Elemen	Fraksi Massa (%)	
	Abu Ampas Tebu	Kitosan-Silika
C	19,61	41,09
N	-	3,68
O	41,78	43,29
Na	-	1,5
Mg	1,12	0,45
Al	2,55	2,41
Si	28,57	6,42
K	2,4	-
Fe	3,95	-
Ca	-	1,22

Tabel 4 merupakan hasil BET dari abu ampas tebu dan kitosan-silika. Hasilnya ditemukan bahwa terjadi penurunan luas permukaan, ukuran pori dan volume pori pada sintesis kitosan-silika dikarenakan oleh serpihan partikel kitosan yang mengisi pori-pori dari adsorben[7]. Penambahan kitosan menyebabkan kuantitas dari luas permukaan suatu material menjadi berkurang. Semakin banyak kitosan yang ditambahkan, maka akan semakin banyak permukaan yang akan tertutupi[14]. Pori-pori yang tertutupi pada adsorben disebabkan oleh aglomerasi yang terjadi pada proses sintesis [15].

Tabel 4. Analisis Surface Area

Jenis Material	Luas Spesifik (m ² /g)
Abu Ampas Tebu	18,37
Kitosan Silika	2,33

4. KESIMPULAN

Hasil sintesis menunjukkan bahwa penambahan kitosan berpengaruh terhadap karakteristik dan daya serap adsorpsi dari silika. Penambahan massa kitosan optimum yaitu sebanyak 2 gram dengan efisiensi *removal* logam berat Cu(II) sebesar 99,85%. Hasil karakterisasi adsorben-kitosan silika menunjukkan bahwa material berwujud amorf dengan munculnya unsur Si sebesar 6,42% ; O sebesar 43,29% ; N sebesar 3,68% ; dan C sebesar 41,09% . Hasil uji FTIR menunjukkan bahwa munculnya gugus Si-O-Si, Si-OH, -OH, -HN, -HN₂, dan Si-O-C. Uji analisis BET menyatakan bahwa adsorben kitosan-silika memiliki luas area spesifik sebesar 2,33 m²/g.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. N. Naat, T. Lapailaka, A. Sabarudin, and R. T. Tjahjanto, "Synthesis and characterization of chitosan-silica hybrid adsorbent from the extraction of timor-east nusa tenggara island silica and its application to adsorption of copper(II) ion," *Rasayan J. Chem.*, vol. 11, no. 4, pp. 1467–1476, 2018, doi:

- 10.31788/RJC.2018.1144055.
- [2] S. Sulastri and S. Kristianingrum, "Berbagai Macam Senyawa Silika :," 2010, pp. 211–216.
 - [3] E. Susilowati, F. W. Mahatmanti, and S. Haryani, "Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Kitosan-Silika Bead sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Pb (II) pada Limbah Cair Batik," vol. 7, no. 2, 2018.
 - [4] T. M. Budnyak, I. V. Pylypchuk, V. A. Tertykh, E. S. Yanovska, and D. Kolodynska, "Synthesis and adsorption properties of chitosan-silica nanocomposite prepared by sol-gel method," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1186/s11671-014-0722-1.
 - [5] S. Affandi, H. Setyawan, S. Winardi, A. Purwanto, and R. Balgis, "A facile method for production of high-purity silica xerogels from bagasse ash," *Adv. Powder Technol.*, vol. 20, no. 5, pp. 468–472, 2009, doi: 10.1016/j.apt.2009.03.008.
 - [6] R. Riskadita, "Pengaruh pH, Lama Kontak, dan Konsentrasi pada Adsorpsi Ion Logam Cd²⁺ Menggunakan Kitosan-Silika," 2017.
 - [7] S. M. Rafigh and A. Heydarinasab, "Mesoporous Chitosan-SiO₂ Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and CO₂ Adsorption Capacity," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 11, pp. 10379–10386, 2017, doi: 10.1021/acssuschemeng.7b02388.
 - [8] S. S. Deviani, F. W. Mahatmanti, and N. Widiarti, "Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Hidrotermal," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 1, 2018.
 - [9] P. Jagadesh, A. Ramachandramurthy, R. Murugesan, and K. Sarayu, "Micro-analytical studies on sugar cane bagasse ash," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 40, no. 5, pp. 1629–1638, 2015, doi: 10.1007/s12046-015-0390-6.
 - [10] Z. Azizati, "Pembuatan dan Karakterisasi Kitosan Kulit Udang Gajah" *Walisongo J. Chem.*, vol. 2, no. 1, p. 10, 2019, doi: 10.21580/wjc.v2i1.4043.
 - [11] M. Rajiv Gandhi and S. Meenakshi, "Preparation and characterization of silica gel/chitosan composite for the removal of Cu(II) and Pb(II)," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 50, no. 3, pp. 650–657, 2012, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2012.01.012.
 - [12] J. N. Hanun, A. Setiawan, and A. E. Afuiddin, "Karakteristisasi Limbah Bagasse Ash Pabrik Gula sebagai Alternatif Bahan Dasar Zeolit Sintesis," 2018, no. 2623, pp. 23–28.
 - [13] G. Viruthagiri, S. Sathiya Priya, N. Shanmugam, A. Balaji, K. Balamurugan, and E. Gopinathan, "Spectroscopic investigation on the production of clay bricks with SCBA waste," *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 149, pp. 468–475, 2015, doi: 10.1016/j.saa.2015.05.006.
 - [14] I. Fajriati, Mudasir, and E. T. Wahyuni, "Adsorption and photodegradation of cationic and anionic dyes by TiO₂-chitosan nanocomposite," *Indones. J. Chem.*, vol. 19, no. 2, pp. 441–453, 2019, doi: 10.22146/ijc.38278.
 - [15] Y. Setiawan and F. W. Mahatmanti, "Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 43–49, 2018.