

**PEMBUATAN SILIKA GEL DARI ABU AMPAS TEBU (*Saccharum Officinarum*) DAN  
APLIKASINYA UNTUK ADSORPSI ION Cu(II)**

**THE MANUFACTURING OF SILICA GEL FROM CANE PULP CINDERS (*Saccharum  
Officinarum*) AND APPLICATION FOR ADSORPTION Cu(II) ION**

**Muhammad Rizky, Alimuddin, Aman Sentosa Panggabean\***

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Mulawarman Samarinda

\*Corresponding author: amanspanggabean@yahoo.com

Submitted: 13 Juni 2019

Accepted: 10 Oktober 2022

Publish: 05 November 2022

**ABSTRACT**

The research about the manufacturing of silica gel from cane pulp cinders (*Saccharum Officinarum*) and application for Cu(II) ion adsorption has been done. The adsorption of Cu(II) ion adsorption is done by some varieties, such as; pH, concentration, and contact time. The research results show the optimum pH was 8, the concentration optimum was 8 ppm, and the contact time was 75 minutes. The recovery percentage was 90.28%, which shows the effectivity of silica gel from cane pulp cinders can be applied for the adsorption Cu(II) ion.

**Keywords :** *Silica gel, Cane pulp cinders, adsorption, Cu(II) ion.*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

## PENDAHULUAN

Tanaman tebu adalah tanaman yang banyak tumbuh di daerah yang beriklim tropis seperti di Indonesia. Tebu merupakan bahan baku yang digunakan untuk pembuatan gula sehingga di Indonesia banyak terdapat pabrik gula, dimana pada produksinya menghasilkan ampas tebu dalam kapasitas yang sangat banyak. Ampas tebu merupakan hasil buangan dari industri gula atau pembuatan minuman dari air tebu yang belum dimanfaatkan secara optimal sehingga membawa masalah tersendiri bagi industri gula maupun lingkungan karena dianggap sebagai limbah.

Secara fisik ampas tebu ialah berwarna putih kekuningan, dimana didalamnya terkandung berbagai macam komponen penyusun. Secara kimiawi, komponen utama penyusun ampas tebu adalah serat yang didalamnya terkandung gugus selulosa, polilosa seperti hemiselulosa, lignoselulosa, dan lignin [1]. Hasil analisis serat dari ampas tebu memiliki komposisi abu sebesar 3,28%, lignin sebesar 22,09%, selulosa sebesar 37,65%, sari sebesar 1,81%, pentosan sebesar 27,97%, dan  $\text{SiO}_2$  sebesar 3,01% [2]. Kandungan senyawa  $\text{SiO}_2$  merupakan bahan baku utama untuk pembuatan silika gel. Menurut [3], pada penelitian sebelumnya ampas tebu masih memiliki kandungan senyawa  $\text{SiO}_2$  yang cukup tinggi, sehingga ampas tebu ini berpotensi sebagai bahan baku pada pembuatan silika gel sehingga ampas tebu juga memiliki nilai ekonomi yang baik.

Silika gel secara umum dapat digunakan sebagai adsorben untuk senyawa-senyawa yang bersifat polar, desikan, pengisi pada kolom kromatografi, dan juga sebagai isolator. Silika gel juga dapat digunakan untuk menyerap ion-ion logam dengan prinsip pertukaran ion. Silika gel merupakan bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ). Sol mirip agar-agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau mirip butiran kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat inilah yang dimanfaatkan sebagai penyerap dari silika gel. Dalam hal ini silika gel yang berasal dari ampas tebu mampu menurunkan kadar ion logam tembaga (Cu).

Logam tembaga (Cu) banyak digunakan pada kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga, dan dari asap kendaraan bermotor. Logam tembaga (Cu) dalam konsentrasi yang tinggi akan berpotensi sebagai racun (toksik). Konsentrasi tembaga yang diperbolehkan ada didalam limbah industri adalah sebesar 3 mg/L [4]. Sifat ini akan menimbulkan dampak negatif bagi kegiatan makhluk hidup. Adanya ion logam tembaga (Cu) yang tersebar di alam dapat memberikan dampak negatif dan dampak positif bagi lingkungan serta makhluk hidup disekitarnya. Menurut [5], tembaga (Cu) merupakan logam esensial yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan organisme sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat. Terpapar tembaga (Cu) dalam waktu yang lama pada manusia akan menyebabkan terjadinya akumulasi bahan-bahan kimia dalam tubuh manusia yang dalam periode waktu tertentu akan menyebabkan munculnya efek yang merugikan kesehatan penduduk [6]. Gejala yang timbul pada manusia yang keracunan tembaga (Cu) akut adalah mual, muntah, sakit perut, hemolisis, kejang, dan bahkan dapat menyebabkan pada kematian. Pada penelitian sebelumnya, membran selulosa asetat-PVC dari enceng gondok telah digunakan untuk mengadsorpsi ion  $\text{Cu(II)}$  [7,8].

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis terhadap abu ampas tebu menjadi silika gel dengan beberapa tahapan. Silika gel yang disintesis dari abu ampas tebu selanjutnya dipelajari karakteristik adsorpsinya, sehingga diharapkan dapat memiliki kemampuan yang baik untuk menyerap ion logam  $\text{Cu(II)}$  dalam sampel.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: *furnace*, cawan penguap, neraca analitik, gelas beaker, labu takar, pipet tetes, spatula, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, termometer, *hot plate*, corong kaca, erlenmeyer, tiang statif dan klem, oven, pH meter (Orion), ayakan ukuran 150 mesh dan seperangkat instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (*GBC Avanta 6506*), Spektrofotometer FT-IR (*Prestige 21-D*) dan SEM (*Hitachi FLEXSEM 100*).

### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah sebagai berikut: ampas tebu, aquades, HCl 1 M, NaOH 1 M, serbuk  $\text{Cu(CH}_3\text{COO)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , kertas saring dan pH universal

### Prosedur Penelitian

#### Preparasi Ampas Tebu menjadi Abu

Pada proses preparasi pada perlakuan pertama ampas tebu dibersihkan kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari. Selanjutnya daun bambu diabukan dalam *furnace* pada suhu 600 °C selama 7 jam.

### **Pencucian Sampel Abu Ampas Tebu**

Abu ampas tebu yang dihasilkan dari proses pengabuan direndam dengan menggunakan larutan HCl 1 M sebanyak 180 mL. Selanjutnya diaduk konstan menggunakan stirer selama 2 jam. Kemudian disaring dengan membilas residu menggunakan aquades. Kemudian residu didiamkan hingga kering.

### **Pembuatan Natrium Silikat**

Residu yang dihasilkan dari proses pencucian sampel ditambahkan dengan larutan NaOH 1 M sebanyak 180 mL diaduk konstan (distirer) pada suhu 80 °C selama 1,5 jam, selanjutnya didiamkan setelah itu disaring sehingga dihasilkan filtrat larutan Natrium Silikat.

### **Pembuatan Silika Gel**

Sebanyak 100 mL larutan natrium silikat diukur pH awal kemudian ditambahkan HCl 1 M setetes demi setetes sambil diaduk sampai pH 7 dan kemudian didiamkan semalam sehingga diperoleh gel (hidrogel). Kemudian gel yang diperoleh dicuci dengan menggunakan aquades sampai air bekas cucian bersifat netral. Setelah itu gel dipanaskan di oven pada suhu 80 °C sampai kering sehingga dihasilkan silika gel kering (serogel). Kemudian silika serogel digerus dan selanjutnya dianalisis dengan instrumen SEM dan FT-IR

### **Pembuatan Larutan Cu(II) 1000 ppm**

Serbuk  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ditimbang sebanyak 0,314 gram. Kemudian dipindahkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan aquades lalu diaduk hingga larut. Setelah itu dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda tera. Didapatkan larutan induk Cu 1000 ppm.

### **Pembuatan Larutan Cu(II) 100 ppm**

Larutan Cu 1000 ppm diambil sebanyak 10 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda tera. Didapatkan larutan Cu 100 ppm.

### **Pembuatan Larutan Kerja Ion Logam Cu(II) dengan Konsentrasi 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm dan 10 ppm**

Larutan Cu 100 ppm diambil masing-masing sebanyak 2 mL, 4 mL, 6 mL, 8 mL dan 10 mL, lalu dimasukkan dalam labu takar 100 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda tera.

### **Uji Adsorpsi Ion Logam Cu(II) terhadap Silika Gel**

#### **Variasi pH**

Sebanyak 0,1 gram silika gel dimasukkan ke dalam 10 mL larutan pH dengan variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan 9. Kemudian diaduk selama waktu interaksi 60 menit, lalu disaring dan residunya dikeringkan, kemudian residu yang telah kering ditambahkan ke dalam larutan standar ion logam Cu dengan konsentrasi 1 ppm dan diaduk selama 60 menit. Kemudian dipisahkan dan selanjutnya dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Dari hasil pengukuran akan didapatkan pH optimum.

#### **Variasi Konsentrasi**

Sebanyak 0,1 gram silika gel dengan pH optimum ditambahkan dengan 10 mL larutan standar ion logam Cu dengan variasi konsentrasi (2, 4, 6, 8, 10) ppm, kemudian diaduk selama waktu interaksi 60 menit, kemudian dipisahkan dan selanjutnya dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Dari hasil pengukuran akan didapatkan konsentrasi optimum.

#### **Variasi Waktu**

Sebanyak 0,1 gram silika gel dengan pH optimum ditambahkan dengan 10 mL larutan standar ion logam Cu dengan konsentrasi optimum dan diaduk selama variasi waktu interaksi (15, 30, 45, 60, 75, 90) menit, kemudian dipisahkan dan selanjutnya dianalisa menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Dari hasil pengukuran akan didapatkan waktu optimum.

#### **Uji Recovery**

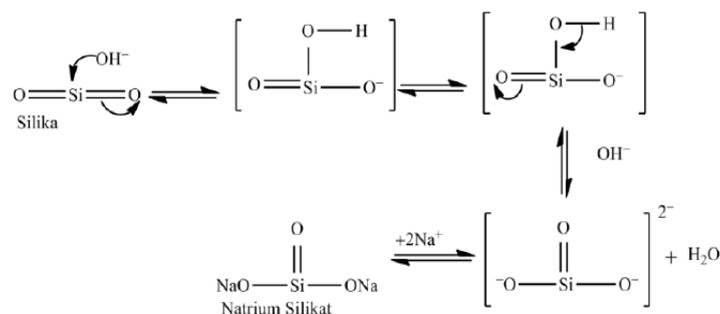
Sebanyak 0,1 gram silika gel dengan pH optimum ditambahkan dengan 10 mL larutan standar ion logam Cu dengan konsentrasi optimum dan diaduk selama waktu interaksi optimum. Kemudian dipisahkan dan selanjutnya dianalisa menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Residu hasil pemisahan dikeringkan. Setelah kering, dimasukkan ke dalam 10 mL larutan HCl 1 M dan diaduk selama waktu interaksi optimum. Kemudian dipisahkan dan dianalisa menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Preparasi Sampel dan Pembuatan Natrium Silikat dari Abu Ampas Tebu

Pada penelitian ini digunakan bahan baku ampas tebu yang telah dibersihkan untuk menghilangkan zat-zat pengotornya dan diarangkan. Setelah itu diabukan pada suhu 700 °C selama 6 jam hal ini berfungsi untuk mengabukan serta menghilangkan zat-zat organik/pengotor yang terkandung dalam abu ampas tebu, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) pada abu ampas tebu tersebut [9]. Setelah itu diaktivasi menggunakan asam klorida (HCl). Garam yang dihasilkan memiliki kelarutan yang besar dalam air, sehingga zat pengotor yang berupa garam tersebut akan hilang selama proses pencucian[3]. Setelah itu didiamkan hingga kering dan didapatkan abu ampas tebu sebanyak 37,72 gram.

Pada pembuatan natrium silikat yaitu dengan mereaksikan abu ampas tebu yang telah dihasilkan dan larutan NaOH 1 M sebanyak 180 mL. Proses ekstraksi dilakukan menggunakan *hot plate* dengan pengadukan konstan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan suhu ±80 °C. Natrium silikat yang dihasilkan dari proses ekstraksi didinginkan dan disaring untuk memisahkan antara residu atau endapan dengan yang tidak larut dengan filtrat yang berupa larutan natrium silikat. Kemudian residu atau endapan dicuci dengan menggunakan 100 mL akuades untuk mengoptimalkan pelarut natrium silikat. Hal ini diharapkan agar larutan natrium silikat yang belum larut dapat terlarut lebih optimal. Larutan natrium silikat yang dihasilkan berwarna putih keruh. Mekanisme yang terbentuk selama proses pembentukan natrium silikat dapat dilihat pada gambar 1



**Gambar 1.** Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat

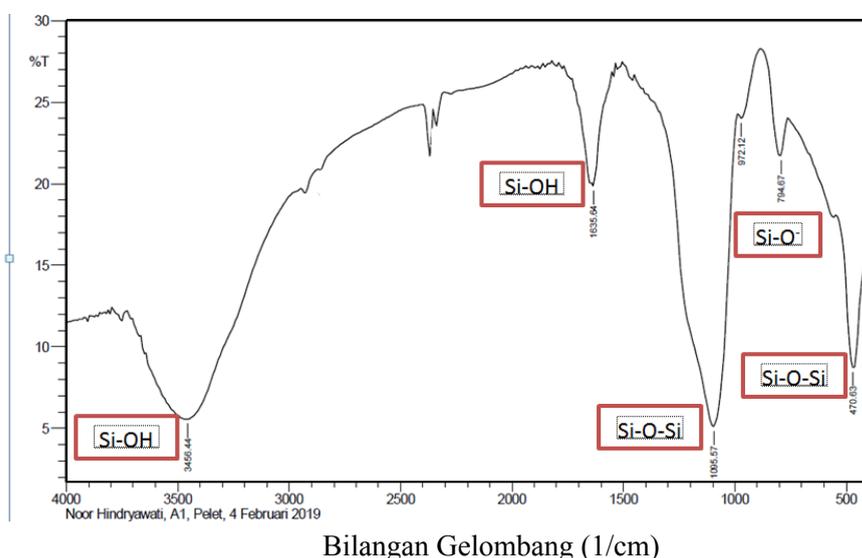
Berdasarkan mekanisme di atas, dapat dilihat bahwa natrium hidroksida (NaOH) akan terdisosiasi sempurna membentuk ion natrium (Na<sup>+</sup>) dan ion hidroksil (OH<sup>-</sup>). Satu ion OH<sup>-</sup> yang bertindak sebagai nukleofil akan menyerang atom Si dalam SiO<sub>2</sub> yang bermuatan elektropositif. Kemudian atom O yang bermuatan elektronegatif akan memutuskan satu ikatan rangkap dan membentuk intermediet SiO<sub>2</sub>OH<sup>-</sup>. Tahap selanjutnya, intermediet yang terbentuk akan melepaskan ion OH<sup>-</sup>. Sedangkan pada atom O akan terjadi pemutusan ikatan rangkap kembali dan membentuk SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Pada tahap ini akan terjadi dehidrogenasi, dimana ion hidroksil yang ke dua (OH<sup>-</sup>) akan berikatan dengan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) dan membentuk molekul air (H<sub>2</sub>O). Molekul SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> yang terbentuk bermuatan negatif akan diseimbangkan oleh dua ion Na<sup>+</sup> yang ada sehingga akan terbentuk natrium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) [3].

### Pembuatan Silika Gel

Pembentukan silika gel diawali dengan mengukur pH awal dari larutan natrium silikat yang dihasilkan. Adapun pH awal yang diperoleh dari pengukuran tersebut adalah 13 yang menandakan bahwa larutan tersebut bersifat basa kuat. Kemudian larutan natrium silikat diaduk konstan dengan menggunakan *magnetic stirrer* bersama dengan penambahan larutan HCl 1 M hingga mencapai pH 7 sampai larutan tercampur sempurna. Pengadukan tersebut dilakukan agar larutan tercampur secara sempurna sampai menghasilkan pH 7. Larutan dibiarkan selama ±18 jam untuk menghasilkan silika gel (hidrogel). Gel yang terbentuk dicuci dengan menggunakan akuades kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 80 °C selama 12 jam, sehingga dihasilkan silika gel yang kering (serogel). Gel yang telah kering digerus dengan menggunakan lumpang dan alu. Adapun silika gel yang dihasilkan pada proses ini adalah sebanyak 10,54 gram. Selanjutnya silika gel yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), Spektroskopi Inframerah (FTIR), dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

### Karakterisasi Silika Gel Abu Ampas Tebu Karakterisasi dengan Menggunakan Spektroskopi Inframerah (FTIR)

Silika gel yang dihasilkan dari abu ampas tebu dianalisis menggunakan FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi seperti gugus silanol, gugus siloksan, dan gugus-gugus lainnya yang ada pada silika gel yang terbentuk. Adapun hasil analisa spektra FT-IR yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 2.



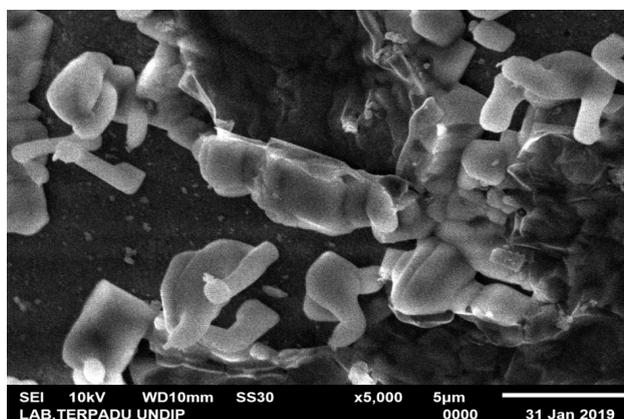
**Gambar 2.** Hasil FTIR dari silika gel abu ampas tebu

Berdasarkan gambar 2 di atas dapat dilihat pada pita serapan  $3456.44\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi regangan gugus  $\text{-OH}$  dari  $\text{Si-OH}$ . Adanya gugus  $\text{-OH}$  tersebut kembali diperjelas dengan adanya puncak spektrum inframerah pada bilangan gelombang  $1635.64\text{ cm}^{-1}$  yang terdapat pada silika, hal tersebut menunjukkan adanya vibrasi bengkokan pada gugus  $\text{-OH}$  dari  $\text{Si-OH}$ . Pada pita serapan  $1095.57\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi regangan  $\text{Si-O}$  dari  $\text{Si-O-Si}$ , dan kembali diperjelas dengan keberadaan ikatan  $\text{Si-O}$  yang muncul pada bilangan gelombang  $470.63\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi bengkokan dari  $\text{Si-O-Si}$ . Pita serapan karakteristik gugus siloksi ( $\text{Si-O}$ ) juga muncul pada bilangan gelombang  $794.67\text{ cm}^{-1}$  dan  $972.12\text{ cm}^{-1}$ .

Secara umum, silika gel hasil sintesis memberikan pola pita serapan yang muncul pada spektrum inframerah yang menunjukkan bahwa gugus-gugus fungsional yang terdapat pada silika gel hasil sintesis dari abu ampas tebu adalah gugus silanol ( $\text{Si-OH}$ ), gugus siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ), dan gugus siloksi ( $\text{Si-O}$ ).

### Karakterisasi dengan Menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Silika gel yang dihasilkan dari abu ampas tebu dianalisis menggunakan SEM untuk mengetahui mikrostruktur (termasuk bentuk retakan dan porositas) suatu benda padat. Adapun hasil analisa SEM yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 3.

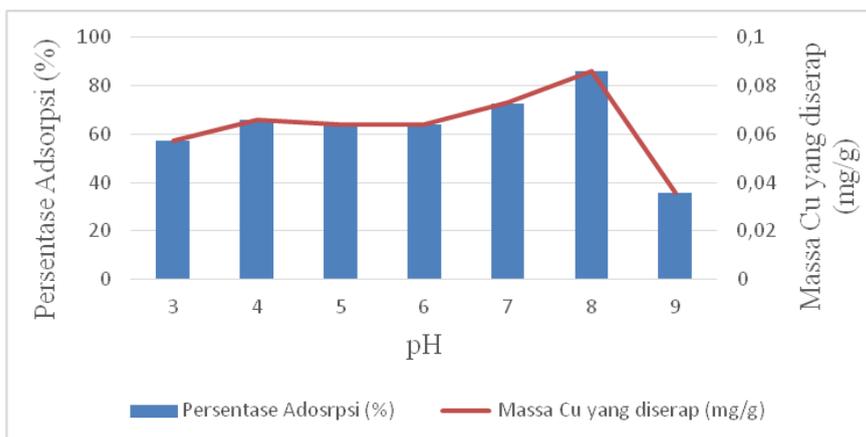


**Gambar 3.** Hasil SEM dari silika abu ampas tebu

Berdasarkan gambar 3 di atas dapat dilihat partikel yang terbentuk atas silika yang dihasilkan dari abu ampas tebu homogen dan berbentuk bulat serta lonjong. Gambar yang terbentuk dianalisa dengan perbesaran 5000 kali dan partikel yang terukur adalah sebesar 5  $\mu\text{m}$ .

### Uji Adsorpsi ion Logam Cu(II) terhadap Silika Gel dari Abu Ampas Tebu Variasi pH

Kondisi keasaman larutan ion logam dapat memberikan pengaruh terhadap persentase dan kapasitas adsorpsi ion logam Cu(II) pada silika, sehingga perlu ditentukan pH optimum pada proses adsorpsi.

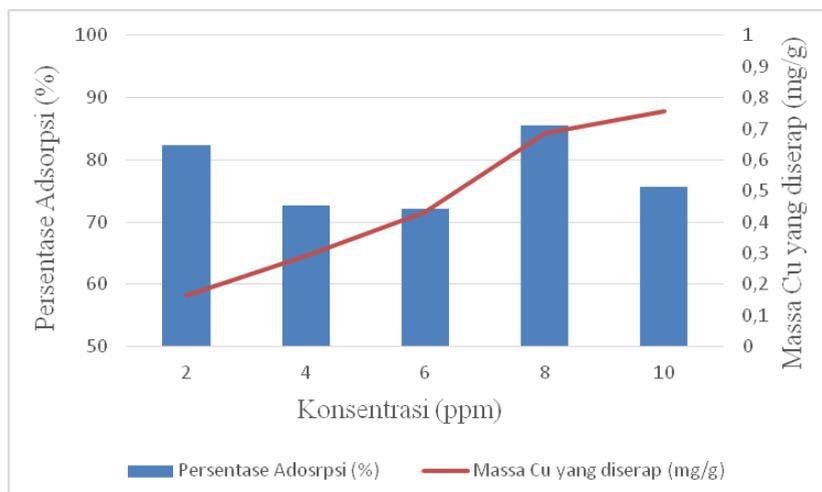


Gambar 4. Adsorpsi ion logam Cu(II) terhadap Silika Gel pada berbagai variasi pH

Berdasarkan gambar 4 yang diperoleh adsorpsi optimum berada pada pH 8, di bawah dan di atas pH 8 penyerapan menurun. Menurut [10], jika proses adsorpsi melalui pertukaran ion, maka adsorpsi dipengaruhi oleh banyaknya proton dalam larutan yang berkompetisi dengan ion logam pada permukaan adsorben, sehingga pada pH rendah (asam) jumlah proton ( $\text{H}^+$ ) melimpah yang mengakibatkan peluang terjadinya pengikatan logam oleh adsorben relatif kecil. Sedangkan pada pH netral ion-ion logam dapat mengalami reaksi hidrolisis dalam larutan sehingga menjadi tidak stabil dalam bentuk ion logam semula, sehingga kemampuan penyerapan menurun. Pada pH yang sangat basa ( $> 9$ ), ion logam Cu(II) dapat membentuk endapan hidroksida, sehingga tidak efektif teradsorpsi silika gel.

### Variasi Konsentrasi

Konsentrasi yang bervariasi dapat memberikan pengaruh terhadap persentase dan kapasitas adsorpsi ion logam Cu(II) pada silika, sehingga perlu ditentukan konsentrasi optimum pada proses adsorpsi.

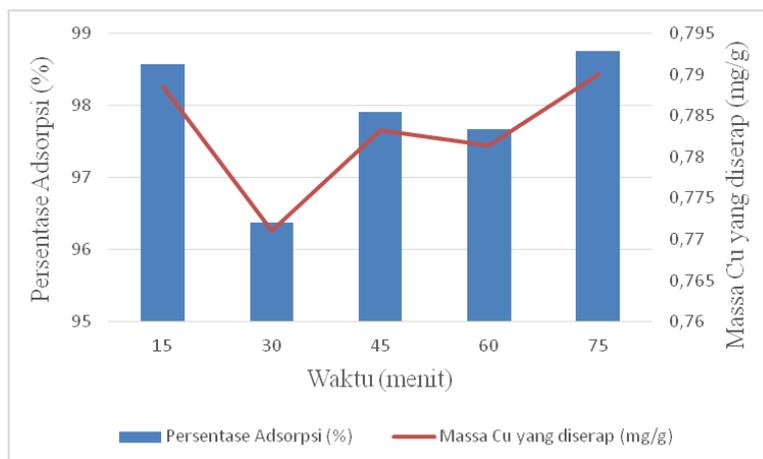


Gambar 5. Adsorpsi ion logam Cu(II) pada berbagai variasi konsentrasi terhadap Silika Gel

Berdasarkan gambar 5 yang diperoleh adsorpsi optimum berada pada konsentrasi 8 ppm, di bawah dan di atas konsentrasi 8 ppm penyerapan menurun. Semakin besar konsentrasi larutan maka semakin banyak jumlah zat terlarut yang dapat diadsorpsi sehingga tercapai kesetimbangan tertentu. Namun bertambahnya konsentrasi ion logam yang berarti menambah jumlah ion logam dalam larutan akan menurunkan kapasitas dan persentase adsorpsi dari adsorben. Hal ini terjadi karena ion-ion logam bersaing untuk berikatan dengan adsorben sehingga menyebabkan ion ion logam yang telah terikat terlepas kembali dan juga dapat disebabkan bahwa luas permukaan adsorben sudah tertutupi sehingga diperlukan waktu yang lebih lama lagi untuk menyerap logam [11].

### Variasi Waktu

Variasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui berapa waktu optimum silika gel mengadsorpsi ion logam Cu(II).



**Gambar 6.** Adsorpsi ion logam Cu(II) terhadap Silika Gel pada berbagai variasi waktu

Berdasarkan gambar 6 yang diperoleh adsorpsi optimum berada pada waktu ke 75 menit. Pada penelitian tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama waktu interaksi, maka ion logam yang teradsorpsi juga semakin banyak.

### Persentase Perolehan Kembali (% Recovery)

Salah satu keuntungan menggunakan biomaterial sebagai adsorben adalah mudah diregenerasi. Regenerasi dapat dilakukan melalui desorpsi sehingga dapat dilakukan *recovery* logam-logam yang telah disisihkan [12,13]. Desorpsi dapat dilakukan dengan mengontakkan adsorben yang telah digunakan dengan larutan yang dikenal dengan agen adsorpsi[14]. Dalam penelitian ini digunakan HCl sebagai agen desorpsi. Adsorben silika gel abu ampas tebu yang telah digunakan untuk menyerap ion logam Cu(II) dikontakkan dengan HCl 1 M selama waktu optimum.

**Tabel 1.** Persentase perolehan kembali ion logam Cu(II)

Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	Konsentrasi Terserap (ppm)	Konsentrasi Terlepas (ppm)	% Recovery
8	0,2211	7,7789	7,0231	90,28

Berdasarkan hasil analisis didapatkan ion logam Cu(II) yang terlepas atau yang terdesorpsi sebesar 7,0231 ppm dan dengan % *recovery* sebesar 90,28%. Dalam desorpsi ini, tidak semua ion logam Cu(II) yang terserap dapat dilepaskan dari adsorben, dengan kata lain masih ada ion logam Cu(II) yang terikat pada adsorben. Hal ini diduga karena ion logam Cu(II) yang terserap oleh adsorben silika gel hanya mengalami interaksi.

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Silika gel yang berasal dari abu ampas tebu dapat digunakan untuk mengadsorpsi ion Cu(II) dan kondisi optimum penyerapan yang dihasilkan dalam berbagai variasi terjadi pada pH 8, dengan konsentrasi 8 ppm, dan waktu kontak 75 menit.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Santosa, S.J., Jumina dan Sri S. 2003. *Sintesis Membran Bio Urai Selulosa Asetat dan Adsorben Super Karboksimetilselulosa dari Selulosa Ampas Tebu Limbah Pabrik Gula*. Yogyakarta: FMIPA UGM
- [2] Husin, U. 2007. *Metode Penelitian untuk Skripsi dan Tesis Bisnis*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada
- [3] Yusuf M, Suhendar D, dan Hadisantoso, E.P. 2014. Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis dari Abu Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *Jurnal ISTEK*, 8(1) : 16-28.
- [4] Panggabean, A.S., Pasaribu, S.P., dan Sari, I.Y.L. 2019. Prakonsentrasi ion Cu (II) menggunakan resin berbasis mikrokapsul Ca-Alginat secara off-line dengan metode kolom. *Chemistry Progress*, 5(2) : 70-76.
- [5] Connel D. W dan Miller G. J. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Jakarta: UI Press.
- [6] Widowati, W., Sastiono, A Yusuf, R. 2008. *Efek Toksik Logam*. ANDI Yogyakarta.
- [7] Panggabean, A.S., Hardianti, Subur P. Pasaribu 2017. Ion Selective Electrode-Copper(II) Based on EDTA as Ionophores in PVC Matrix, *Asian Journal of Chemistry*, 29(2), : 362-366.
- [8] Thaiyibah, N., Alimuddin dan Panggabean, A.S. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat-PVC dari Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) untuk Adsorpsi Logam Tembaga (II). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 14(1) : 29-35.
- [9] Handayani, P.A., Nurjanah, E., dan Rengga, W.D.P. 2015. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(2) : 55-59.
- [10] Apriliani, A., 2010. *Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah*. Skripsi: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- [11] Mattel, C. L. 1991. *Adsorption*. 2nd Edition. McGraw-Hill Company Inc: New York.
- [12] Anggraini, R., Hairani, R., Panggabean, A.S. 2018. Validasi Metode Penentuan Hg Pada Sampel Waste Water Treatment Plant Dengan Menggunakan Teknik Bejana Uap Dingin-Spektrofotometer Serapan Atom (CV-AAS), *Jurnal Kimia Mulawarman*, 16(1), Hal. 10-15.
- [13] Panggabean A S, Widyastuti T, dan Hindyawati N. 2019. Validasi Metode Penentuan Benzena, Toluena, dan Xilena pada Sampel Udara dan Tanah Menggunakan Kromatografi Gas. Samarinda: *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 15(2) : 177-189.
- [14] Arif, M.S., Ulfiya, R., Erwin and Panggabean, A.S. 2021. Synthesis Silver Nanoparticles Using Trisodium Citrate and Development in Analysis Method, *AIP Conference Proceedings* 2360, 050007.