

# Sintesis Nanoselulosa dari Batang Bambu menggunakan Hidrolisis Asam dan Gelombang Ultrasonik sebagai adsorben Logam Kadmium(II) dalam Limbah Industri Elektroplating

Lu'lu' Fitriana<sup>1,a\*</sup>, Miftakhul Hidayah<sup>1,b</sup>, dan Widi Astuti<sup>1,c</sup>

<sup>1,a,b,c</sup> Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Negeri Semarang, Sekaran, Gunung Pati, Semarang 50229  
E-mail: \*lulufitriana@students.unnes.ac.id

**Abstrak.** Perkembangan industri di Indonesia meningkat dengan cepat, salah satunya adalah industri elektroplating. Industri electroplating menimbulkan dampak negatif terutama limbah yang dihasilkan. Limbah yang paling banyak mendapat perhatian dalam industri elektroplating adalah limbah logam berat seperti kadmium (Cd). Kadmium (Cd) dianggap sebagai logam yang sangat beracun tanpa diketahui fungsi biologisnya. Oleh karena itu diperlukan pengolahan limbah terlebih dahulu sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Metode adsorpsi diketahui merupakan metode yang paling efektif untuk menghilangkan kandungan logam dalam limbah. Material adsorben berbasis biomassa lebih disukai karena murah dan mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi. Salah satu adsorben biomassa yang potensial sebagai adsorben logam berat adalah nanoselulosa dari batang bambu karena kandungan selulosa yang cukup tinggi yaitu (42,2-53,6%). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakterisasi serta kemampuan adsorpsi dari nanoselulosa batang bambu yang telah disintesis. Karakterisasi nanoselulosa yang dihasilkan diuji menggunakan SEM dan FTIR. Hasil FTIR menunjukkan 2 daerah serapan utama yaitu pada panjang gelombang 3789,07 dan 3431,97  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi OH dan panjang gelombang 1500,44  $\text{cm}^{-1}$ , 1426,27  $\text{cm}^{-1}$  serta 1426,27  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi C=C. Kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada pH 7, waktu kontak 180 menit, dan massa adsorben 0,2 gram.

**Kata kunci:** Kadmium(II), adsorpsi, nanoselulosa, ultrasonik, hidrolisis asam.

**Abstract.** Industrial development in Indonesia is increasing rapidly, one of which is the electroplating industry. The electroplating industry has a negative impact, especially the waste produced. The most attention-getting waste in the electroplating industry is heavy metal waste such as cadmium (Cd). Cadmium (Cd) is considered to be a highly toxic metal without knowing its biological function. Therefore, waste treatment is needed before the waste is discharged into the environment. The adsorption method is known to be the most effective method for removing metal content in waste. Biomass-based adsorbent material is preferred because it is cheap and has a high adsorption capacity. One of the potential biomass adsorbents as heavy metal adsorbents is nanocellulose from bamboo stems because the cellulose content is quite high (42.2-53.6%). The purpose of this study was to determine the characterization and adsorption ability of bamboo stem nanocellulose which had been synthesized. Characterization of nanocellulose produced was tested using SEM and FTIR. FTIR results show that two main absorption areas are at wavelengths 3789.07 and 3431.97  $\text{cm}^{-1}$  which show OH- functional groups and wavelengths of 1500.44  $\text{cm}^{-1}$ , 1426.27  $\text{cm}^{-1}$  and 1426.27  $\text{cm}^{-1}$  which indicates the functional group C=C. Maximum adsorption capacity occurs at pH 7, contact time of 180 minutes, and adsorbent mass of 0.25 grams.

**Keywords.** Cadmium (II), adsorption, nanocellulose, ultrasonic, acid hydrolysis.



## 1. Pendahuluan

Air sebagai sumber kehidupan, sangat penting untuk setiap aspek dalam kehidupan manusia. Namun saat ini seluruh dunia sedang menghadapi kelangkaan air karena pertumbuhan penduduk yang cepat, perkembangan industri, perubahan iklim, penggunaan air yang tidak semestinya, serta pencemaran air. Kontaminasi air dan pencemaran air merupakan masalah besar untuk lebih dari 60% populasi manusia dunia. Kegiatan industri dan kegiatan di perkotaan cenderung memberi kontribusi besar terhadap pencemaran air [1]. Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair dengan jumlah yang besar adalah limbah industri elektroplating.

Pesatnya perkembangan industri elektroplating menghasilkan sejumlah besar limbah yang membutuhkan serangkaian perlakuan untuk memenuhi standar lingkungan sebelum di buang ke lingkungan [2]. Limbah yang dihasilkan oleh industri elektroplating biasanya menghasilkan limbah yang mengandung logam berat dalam jumlah yang besar [3]. Limbah tersebut apabila di buang langsung ke lingkungan akan berdampak serius pada kesehatan manusia dan lingkungan sekitarnya [4].

Limbah yang paling banyak mendapat perhatian dalam industri elektroplating adalah limbah logam – logam berat seperti kadmium (Cd). Kadmium (Cd) dianggap sebagai logam yang sangat beracun tanpa diketahui fungsi biologisnya. Kadmium dapat menumpuk pada tubuh manusia terutama ginjal, sehingga dapat menyebabkan kerusakan ginjal. Logam kadmium telah masuk daftar merah polutan utama oleh Departement of Environment, UK dan dalam *black list* dari Dangerous Substance Directive in European Economic Community. US Environment Protection Agency juga mengklasifikasikan logam kadmium sebagai bahan karsinogenik. Sehingga sangat penting untuk menghilangkan logam Cd dari lingkungan perairan [5].

Teknik yang telah dikembangkan dalam pengolahan limbah terutama penyerapan logam diantaranya adalah presipitasi [6], ion *exchange* [7], teknologi membran [8], elektrokimia [9], secara biologi dan adsorpsi [10]; [11]. Akan tetapi metode-metode tersebut sering menghabiskan biaya yang mahal serta tidak efektif untuk menghilangkan kandungan ion logam dari larutan [12].

Diantara metode ini teknik adsorpsi memiliki keunggulan diantaranya sederhana, efektif dan ekonomi untuk pengolahan limbah cair [13]. Penelitian mengenai adsorben terus dikembangkan untuk mencari adsorben dengan biaya rendah serta daya adsorpsi yang tinggi [14]. Penelitian mengenai adsorpsi logam kadmium(II) diperairan telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan berbagai macam adsorben diantaranya menggunakan arang aktif dari batang tanaman, tempurung kelapa serta cangkang telur. Pada penelitian [15] penghilangan logam kadmium(II) dilakukan menggunakan serbuk arang aktif dari berbagai macam batang tanaman. Namun pada penelitian ini dibutuhkan temperatur yang tinggi hingga mencapai 600°C untuk mensintesis arang aktif serta diperlukan komposit TiO<sub>2</sub> untuk meningkatkan efisiensi dari adsorben sehingga biaya serbuk sintesis arang aktif lebih mahal. Penelitian penghilangan logam kadmium(II) di perairan juga dilakukan oleh [16] menggunakan arang aktif dengan tempurung kelapa dengan pemanasan *microwave*, namun kapasitas adsorpsi maksimumnya hanya 3,846 mg/g. Penelitian lain dilakukan oleh [17] yang mensintesis adsorben dengan menggunakan cangkang telur menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih rendah yaitu sebesar 3,67 mg/gram. Kapasitas adsorpsi maksimum yang rendah ini diduga karena difusi intra partikel yang lama. Oleh karena itu perlu dikembangkan material lain untuk sintesis adsorben yang menghasilkan kapasitas adsorpsi yang tinggi. Dewasa ini material berbasis limbah biomassa dengan kandungan selulosa yang tinggi lebih disukai karena murah dan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi [18].

Selulosa adalah biopolimer yang sangat melimpah di alam. Selulosa merupakan sumber daya terbarukan, memiliki sifat *biodegradable* dan *biocompatible* sehingga selulosa dapat dipertimbangkan sebagai adsorben yang potensial untuk menghilangkan kontaminan [19]. Nanoselulosa diekstrak dari material lignoselulosa, semakin dipertimbangkan dalam pemurnian air karena sifat uniknya seperti luas permukaan spesifik yang besar, properti mekanik yang tinggi, *biocompatibility* yang bagus, dan aksesibilitas kimiawi [20].

Penelitian ini mengembangkan adsorben baru berbasis nanoselulosa dari limbah bambu yang disintesis menggunakan metode hidrolisis asam dengan pemanasan gelombang ultrasonik untuk menghilangkan kandungan logam kadmium(II) dalam perairan. Pada penelitian ini bambu sebagai bahan baku adsorben karena bambu memiliki kandungan selulosa yang tinggi yaitu 49,1% [21] sehingga berpotensi sebagai adsorben. Hal ini didukung dengan keberadaan gugus hidroksil di dalam strukturnya yang diduga dapat memberikan kontribusi pada proses adsorpsi [22].

Kemampuan adsorpsi selulosa yang disintesis dari batang bambu belum cukup tinggi dan waktu interaksi yang cukup lama mencapai 4 jam. Hal ini diduga karena proses difusi intra partikel yang lama, oleh karena itu untuk mengatasi masalah ini selulosa akan diubah lebih lanjut dengan transformasi selulosa menjadi struktur nanoselulosa sehingga kapasitas adsorpsinya akan meningkat. Sintesis nanoselulosa dapat dilakukan dengan perlakuan mekanik (homogenisasi dengan tekanan tinggi dan sonifikasi), perlakuan biologi (enzimatik dengan mikroorganisme) dan perlakuan kimiawi (oksidasi dan hidrolisis asam). Proses sintesis selulosa dengan hidrolisis asam dapat dikombinasi dengan gelombang ultrasonik karena dapat meningkatkan *yield* dan dispersi dari nanoselulosa dengan fenomena kavitasi. Disisi lain penggunaan gelombang ultrasonik sangat berpengaruh terhadap karakter nanoselulosa yang dihasilkan. Pada pemanasan konvensional antar permukaan panas ditransfer *bed* adsorben melalui konveksi, konduksi, dan radiasi sehingga ada gradien suhu, akibatnya struktur pori tidak seragam. Penggunaan gelombang ultrasonik dapat meningkatkan fibrilasi yang lebih tinggi, hasil nanoselulosa juga lebih tinggi sehingga akan meningkatkan *yield* yang dihasilkan [23]. Namun tidak semua material dapat berinteraksi dengan baik dengan gelombang ultrasonik, hal ini akan dipelajari dalam penelitian ini.

Didasarkan pada alasan-alasan tersebut, maka pada penelitian ini digunakan adsorben baru berbasis nanoselulosa dari limbah bambu. Limbah bambu disintesis menggunakan hidrolisis asam dengan pemanasan gelombang ultrasonik untuk memaksimalkan *yield* yang dihasilkan serta memperbesar luas permukaan dari adsorben sehingga kandungan logam kadmium(II) dalam limbah industri electroplating dapat diminimalisasi.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Alkaline Treatment

Batang bambu diserbukkan menggunakan mesin gergaji, selanjutnya dilakukan penghilangan hemiselulosa dengan mendidihkan serbuk bambu pada suhu 100°C. Setelah dihilangkan kandungan hemiselulosanya dilanjutkan dengan proses alkaline treatment dengan menggunakan NaOH 1M dengan *stirring* menggunakan *hot plate* pada suhu 80°C selama 2 jam.

### 2.2 Bleaching Treatment

Proses *bleaching* selulosa dengan menggunakan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dengan kadar 24% dilakukan dengan *mechanical stirring* pada suhu 70°C selama 40 menit. Setelah itu serbuk bambu dicuci dengan aquades hingga pH netral, pengecekan pH digunakan indikator universal. Selulosa kemudian di oven hingga kering dilakukan pada suhu 105°C selama 2 jam.

### 2.3 Hidrolisis asam dan gelombang ultrasonik

Selulosa kering dicampurkan dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan kadar 60% kemudian dilakukan proses sonikasi dengan gelombang ultrasonik selama 60 menit pada suhu 60°C selama 60 menit. Nanoselulosa yang terbentuk selanjutnya didinginkan dengan air pendingin untuk menghentikan reaksi. Proses sentrifugasi dilakukan untuk memisahkan antara nanoselulosa dengan larutannya, sentrifugasi dilakukan pada kecepatan 12000 rpm selama 10 menit. Nanoselulosa disimpan pada suhu 4°C. Selanjutnya nanoselulosa yang dihasilkan di analisis gugus fungsinya menggunakan FTIR.

## 3. Hasil dan Pembahasan

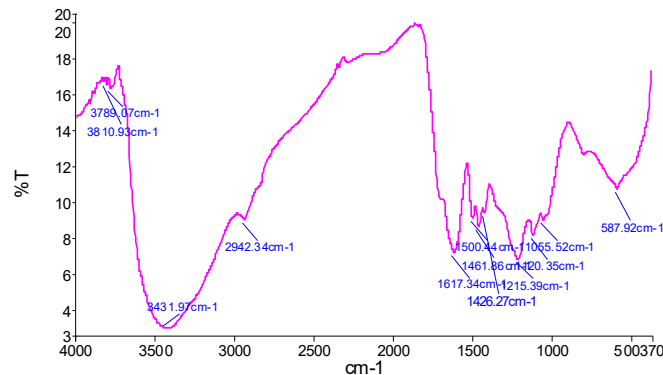
### 3.1 Uji karakterisasi

#### 3.1.1 Uji FTIR

Spektroskopi FTIR digunakan untuk menunjukkan gugus fungsi yang terdapat dalam nanoselulosa batang bambu. Secara umum batang bambu memiliki komponen yaitu lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Ketiga



komponen tersebut tersusun atas alkana, ester, aromatik, dan alkohol. Hasil spektrum FTIR nanoselulosa batang bambu ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Spektroskopi FTIR Nanoselulosa batang bambu

Tabel 1. Daerah Serapan Infra Merah Nanoselulosa Batang Bambu

Peak	Daerah serapan (cm-1)	Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
1	3810.93	N-H
2	3789.07	O-H <i>Vibration</i>
3	3431.97	O-H <i>Stretching</i>
4	2942.34	C≡C
5	1617.34	C=O
6	1500.44	C=C Aromatik
7	1461.86	C=C Aromatik
8	1426.27	C=C Aromatik
9	1215.39	C-O <i>Stretching</i>
10	1120.35	C-H
11	1055.52	C-OH <i>Stretching Vibration</i>
12	587.92	C-H <i>Stretching</i>

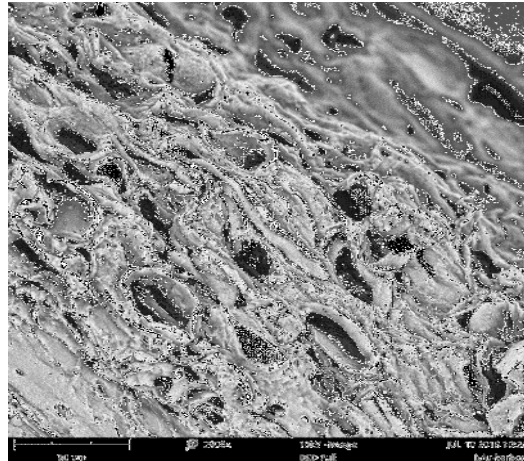
Tabel 1 menunjukkan daerah serapan infra merah nanoselulosa batang bambu setelah melewati tiga perlakuan yaitu *alkaline treatment*, *bleaching*, serta hidrolisis dan sonikasi. Perlakuan pertama yaitu *alkaline treatment* akan mereduksi ikatan hidrogen akibat penghilangan kelompok hidroksil dengan bereaksi bersama sodium hidroksida. Hasil dari *alkaline treatment* yaitu adanya gugus -OH ditunjukkan dengan adanya puncak daerah serapan antara 3789,07 dan 3431,97 cm<sup>-1</sup>. Perlakuan kedua adalah *bleaching*. *Bleaching* bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin. Hasil Spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi C=C aromatik pada panjang gelombang 1500,44 cm<sup>-1</sup>, 1426,27 cm<sup>-1</sup> serta 1426,27 cm<sup>-1</sup>. Gugus tersebut menunjukkan masih adanya kandungan lignin pada nanoselulosa batang bambu. Hal ini menunjukkan bahwa proses *bleaching* yang dilakukan kurang maksimal sehingga produk akhir nanoselulosa masih mengandung lignin

Spektrum 1120,52 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya gugus fungsi C-H, simetris dan asimetris *stretching* (pergerakan) dari gugus fungsi -COOH dan *stretching* (pergerakan) dari ikatan C-O-C dalam cincin glikosida. Untuk hidrolisis asam nanoselulosa, munculnya gugus fungsi baru yaitu C-O-S yang mengindikasikan adanya ikatan O-SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> yang menunjukkan esterifikasi sulfat, asam sulfat tersulfonasi dan hidrokarbon atau ikatan hidroksida.

Reaksi hidrolisis asam pada selulosa dengan menggunakan asam sulfat. Asam sulfat yang diencerkan dengan air akan membentuk ion H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> yang kemudian ion H<sup>+</sup> bereaksi dengan salah satu cincin selulosa membentuk ikatan O-H. Reaksi ini menghasilkan H<sub>2</sub>O yang kemudian H<sub>2</sub>O akan bereaksi dengan cincin selulosa yang satunya membentuk ikatan O-H dan menghasilkan ion H<sup>+</sup>. Sedangkan pada panjang gelombang 1055,52 cm<sup>-1</sup> menunjukkan gugus fungsi C-OH *stretching vibration* yang mengindikasikan pecahnya ikatan glikosida pada selulosa dan muncul lebih banyak gugus fungsi C-OH.

### 3.1.2 Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Uji SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dari nanoselulosa batang bambu yang dihasilkan. Hasil uji SEM ditunjukkan pada Gambar.2 berikut :



Gambar 2. Hasil Uji SEM Nanoselulosa Batang Bambu

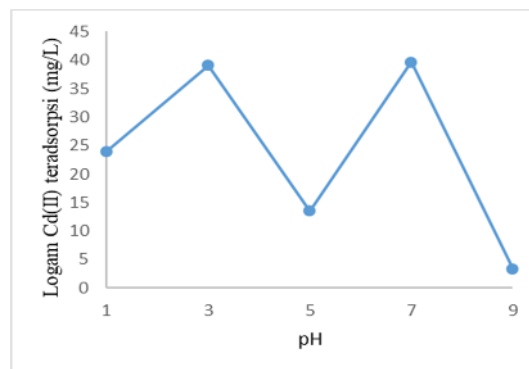
Gambar 2 menunjukkan bahwa nanoselulosa limbah bambu memiliki banyak pori dengan kedalaman tiap pori yang cukup dalam. Pembentukan pori ini disebabkan oleh reaksi antara C dan NaOH dalam proses *alkaline treatment* yang menyebabkan permukaan permukaan pori semakin terkikis, sehingga pori akan semakin lebar. Dalam hal ini  $\text{Na}^+$  bertindak sebagai *impregnation agent* dan  $\text{OH}^-$  bertindak sebagai kontributor grup fungsional. Dari hasil pengujian SEM juga terlihat permukaan nanoselulosa yang masih banyak kotoran.

## 3.2 Uji Adsorpsi Kadmium(II)

Untuk menentukan kapasitas optimum adsorpsi kadmium(II) menggunakan nanoselulosa ada 3 faktor penting yang diamati. Faktor tersebut diantaranya pH, konsentrasi awal, dan waktu kontak.

### 3.2.1 Pengaruh pH larutan

Pengaruh pH terhadap kadar kadmium(II) yang teradsorpsi diuji pada pH 1, 3, 5, 7, dan 9 yang tersaji pada Gambar 3 berikut ini :



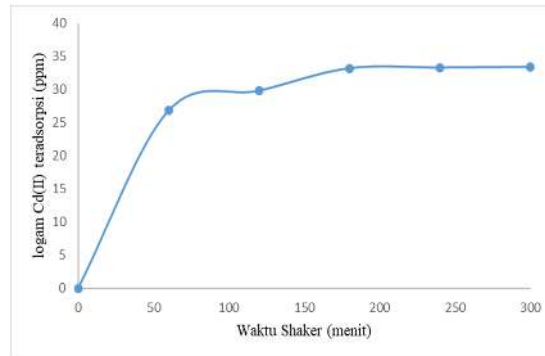
Gambar 3. Pengaruh pH terhadap kadar kadmium(II) yang teradsorpsi

Gambar 3 tersebut menunjukkan bahwa pH optimum yang digunakan untuk mengadsorpsi kadmium(II) adalah pH 7 dengan kadar logam teradsorpsi sebesar 39,7 mg/L. Hal ini menunjukkan proses penjerapan kadmium(II) paling efektif dilakukan pada pH netral.



### 3.2.2 Pengaruh waktu kontak

Secara umum, adsorpsi logam kadmium(II) dengan hidrolisis asam menggunakan gelombang ultrasonik mencapai kesetimbangannya pada waktu 180 menit dengan kadar logam kadmium(II) yang terjerap yaitu sebesar 33,2 mg/L seperti terlihat pada Gambar 4 berikut ini :

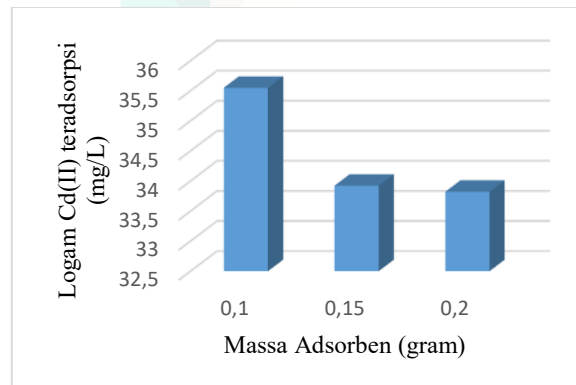


Gambar 4. Pengaruh waktu kontak terhadap jumlah kadmium(II) teradsorpsi

Kadar logam kadmium(II) yang teradsorpsi meningkat secara drastis pada waktu 0 sampai 60 menit. Hal ini disebabkan karena masih banyak situs aktif yang kosong dalam nanoselulosa sehingga kecenderungan adsorbat untuk terjerap ke permukaan adsorben cukup tinggi. Semakin lama waktu kontak maka situs aktif yang terisi oleh adsorbat semakin banyak hingga mencapai titik jenuh dan terjadi kesetimbangan, pada penelitian ini terbukti bahwa titik kesetimbangan tercapai pada waktu 180 menit.

### 3.2.3 Pengaruh massa adsorben

Pengaruh massa awal adsorben terhadap jumlah kadmium(II) yang teradsorpsi diuji menggunakan massa awal adsorben sebesar 0,1 g, 0,15 g, 0,2 g terlihat pada Gambar 5 berikut ini :



Gambar 5. Pengaruh massa adsorben terhadap jumlah kadmium(II) teradsorpsi.

Adsorben nanoselulosa cenderung mengalami aglomerasi dalam larutan. Terlihat pada Fig.5 dengan menggunakan massa adsorben 0,1 sampai 0,2 semakin banyak massa adsorben yang digunakan maka semakin sedikit kadmium(II) yang terjerap dalam situs aktif hal ini karena permukaan situs aktif tidak tersebar secara sempurna kedalam larutan akibat aglomerasi nanoselulosa. Massa adsorben yang paling efektif menjerap kadmium(II) adalah 0,25 g dengan kadar kadmium sebesar 3,74 mg/L.

### Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan nanoselulosa dari batang bambu untuk mengadsorpsi logam kadmium(II). Hasil spektroskopi FTIR menunjukkan daerah serapan utama adalah pada panjang gelombang 3789,07 dan 3431,97  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi OH dan panjang gelombang 1500,44  $\text{cm}^{-1}$ , 1426,27  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi C=C. Kapasitas adsorpsi optimum kadmium(II) menggunakan nanoselulosa batang bambu dicapai pada pH 7, waktu 180 menit, dan massa adsorben yang digunakan yakni 0,25 gram.

## Referensi

- [1] J. N. Putro, A. Kurniawan, S. Ismadji, and Y. H. Ju, "Nanocellulose based biosorbents for wastewater treatment: Study of isotherm, kinetic, thermodynamic and reusability," *Environ. Nanotechnology, Monit. Manag.*, vol. 8, pp. 134–149, 2017.
- [2] C. R. Ramakrishnaiah and S. Duvvuri, "Stabilization of Metal- Laden Soils Using Different Additives – A Review of Technologies," vol. 7, no. 3, pp. 122–131, 2015.
- [3] Y. L. Chen, P. H. Shih, L. C. Chiang, Y. K. Chang, H. C. Lu, and J. E. Chang, "The influence of heavy metals on the polymorphs of dicalcium silicate in the belite-rich clinkers produced from electroplating sludge," *J. Hazard. Mater.*, vol. 170, no. 1, pp. 443–448, 2009.
- [4] P. Celary and J. Sobik-Szolytysek, "Vitrification as an alternative to landfilling of tannery sewage sludge," *Waste Manag.*, vol. 34, no. 12, pp. 2520–2527, 2014.
- [5] F. Y. Wang, H. Wang, and J. W. Ma, "Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent-Bamboo charcoal," *J. Hazard. Mater.*, vol. 177, no. 1–3, pp. 300–306, 2010.
- [6] J. Hao, L. Ji, C. Li, C. Hu, and K. Wu, "Rapid, efficient and economic removal of organic dyes and heavy metals from wastewater by zinc-induced in-situ reduction and precipitation of graphene oxide," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 0, pp. 1–9, 2018.
- [7] R. W. Gaikwad, V. S. Sapkal, and R. S. Sapkal, "Ion exchange system design for removal of heavy metals from acid mine drainage wastewater," *Acta Montan. Slovaca*, vol. 15, no. 4, pp. 298–304, 2010.
- [8] H. Al-Zoubi, A. Rieger, P. Steinberger, W. Pelz, R. Haseneder, and G. Härtel, "Optimization study for treatment of acid mine drainage using membrane technology," *Sep. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 14, pp. 2004–2016, 2010.
- [9] L. Fojt and V. Vetterl, "Electrochemical Evaluation of Extremely-Low Frequency Magnetic Field Effects on Sulphate-Reducing Bacteria," *Folia Biol. (Praba)*, vol. 48, pp. 44–48, 2012.
- [10] D. Mohan and S. Chander, "Single, binary, and multicomponent sorption of iron and manganese on lignite," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 299, no. 1, pp. 76–87, 2006.
- [11] T. Motsi, N. A. Rowson, and M. J. H. Simmons, "Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 92, no. 1–2, pp. 42–48, 2009.
- [12] O. Karnitz, L. V. A. Gurgel, and L. F. Gil, "Removal of Ca(II) and Mg(II) from aqueous single metal solutions by mercerized cellulose and mercerized sugarcane bagasse grafted with EDTA dianhydride (EDTAD)," *Carbohydr. Polym.*, vol. 79, no. 1, pp. 184–191, 2010.
- [13] Z. Cheng, L. Zhang, X. Guo, X. Jiang, and T. Li, "Adsorption behavior of direct red 80 and congo red onto activated carbon/surfactant: Process optimization, kinetics and equilibrium," *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 137, pp. 1126–1143, 2015.
- [14] H. A. M. Baceilo, S. C. R. Santos, and C. M. S. Botelho, "Tannin-based biosorbents for environmental applications - A review," *Chem. Eng. J.*, vol. 303, pp. 575–587, 2016.
- [15] N. Popa and M. Visa, "The synthesis, activation and characterization of charcoal powder for the removal of methylene blue and cadmium from wastewater," *Adv. Powder Technol.*, vol. 28, no. 8, pp. 1866–1876, 2017.
- [16] M. W. Yap, N. M. Mubarak, J. N. Sahu, and E. C. Abdullah, "Microwave induced synthesis of magnetic biochar from agricultural biomass for removal of lead and cadmium from wastewater," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 45, pp. 287–295, 2017.
- [17] C. Jeon, "Adsorption behavior of cadmium ions from aqueous solution using pen shells," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 58, pp. 57–63, 2018.
- [18] Q. Xu, Y. Wang, L. Jin, Y. Wang, and M. Qin, "Adsorption of Cu (II), Pb (II) and Cr (VI) from aqueous solutions using black wattle tannin-immobilized nanocellulose," *J. Hazard. Mater.*, vol. 339, pp. 91–99, 2017.
- [19] D. Roy, M. Semsarilar, J. T. Guthrie, and S. Perrier, "Cellulose modification by polymer grafting: a review," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 38, no. 7, p. 2046, 2009.
- [20] H. Ma, C. Burger, B. S. Hsiao, and B. Chu, "Nanofibrous microfiltration membrane based on





- cellulose nanowhiskers,” *Biomacromolecules*, vol. 13, no. 1, pp. 180–186, 2012.
- [21] X. Li, “Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing,” *Agric. Mech. Coll.*, vol. Master of, p. 76, 2004.
- [22] M. S. Sajab *et al.*, “Citric acid modified kenaf core fibres for removal of methylene blue from aqueous solution,” *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 15, pp. 7237–7243, 2011.
- [23] D. B. Baroni, M. S. Q. Bittencourt, and A. M. L. Costa, “Ultrasonic Spectral Analysis for Ceramics Characterization,” p. 2009, 2009.

