

**SINTESIS NANOKRISTAL SELULOSA AMPAS TEBU
MENGUNAKAN METODE HIDROLISIS ASAM DAN APLIKASINYA
SEBAGAI ADSORBEN ION TIMBAL (II)**

***SYNTHESIS OF BAGASSE CELLULOSE NANOCRYSTALS USING ACID
HYDROLISIS METHOD AND ITS APPLICATION AS LEAD (II) ION
ADSORBENT***

RINA ASRIANTI RAIHAN, DHONY HERMANTO, MURNIATI
Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia
Email: rinaasriantiraihan@gmail.com

Abstrak. Timbal merupakan jenis logam berat yang berbahaya bagi kesehatan yang dapat berasal dari kegiatan industri. Untuk mengurangi pencemaran logam berat digunakan metode adsorpsi menggunakan adsorben dari bahan alami yaitu selulosa ampas tebu yang di ubah menjadi nanokristal selulosa sebagai adsorben ion timbal Pb (II). Tujuan penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi nanokristal selulosa dan mengetahui pengaruh variasi massa, pH, dan konsentrasi larutan serta mempelajari model *isotherm* adsorpsi. Karakterisasi nanokristal selulosa oleh spektrofotometer FTIR menunjukkan adanya gugus O-H, C-H dan gugus fungsi CH₂ merupakan gugus fungsi dari selulosa. Karakterisasi hasil pengukuran menggunakan PSA, nanokristal selulosa memiliki ukuran partikel sebesar 1,084 nm dan karakterisasi XRD menunjukkan puncak tertinggi pada $2\theta = 25,263^\circ$ dan pada $2\theta = 17,634^\circ$. Kondisi optimum adsorpsi menunjukkan variasi massa adsorben yaitu 0,2 g, pH 6 dan konsentrasi larutan sebesar 75 ppm serta kapasitas adsorpsi sebesar 1,887 mg/g. Model *isotherm* yang diperoleh yaitu isotherm Langmuir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nanokristal selulosa dapat mengadsorpsi ion timbal .

Kata kunci: ampas tebu, nanokristal selulosa, ion timbal, adsorpsi.

Abstract. Lead is a type of heavy metal that is harmful to health that can come from industrial activities. To reduce heavy metal pollution, an adsorption method is used using an adsorbent from natural materials, namely bagasse cellulose which is converted into cellulose nanocrystals as an adsorbent for lead (II) ion. Characterization of cellulose nanocrystals by FTIR spectrophotometer showed the presence of OH, CH and CH₂ are functional groups of cellulose. Characterization of the measurement results using PSA, cellulose nanocrystals had a particle size of 1.084 nm and XRD characterization showed the highest peaks at $2\theta = 25.263^\circ$ and at $2\theta = 17.634^\circ$. The optimum adsorption conditions showed variations in adsorbent mass, namely 0.2 g, pH 6 and solution concentration of 75 ppm and adsorption capacity of 1.887 mg/g. The isotherm obtained is the Langmuir isotherm. The test results show that cellulose nanocrystals can adsorb lead (II) ions .

Keywords: bagasse, cellulose nanocrystal, lead ion, adsorption.

PENDAHULUAN

Tanaman tebu (*Saccharum sp.*) merupakan salah satu komoditas penting untuk dijadikan bahan utama pembuatan gula yang sudah menjadi kebutuhan primer dalam rumah tangga (Royyani dan Lestari, 2009). Biasanya tebu digunakan sebagai bahan baku utama produksi gula dimana produk samping berupa ampas tebu. Kandungan yang terdapat dalam ampas tebu sebagian besar mengandung *ligno-cellulose* (Motaung dan Anandjiwala, 2015).

Selulosa adalah polimer alami linier dari unit anhidroglukosa yang dihubungkan pada satu dan empat atom karbon oleh ikatan β -glikosidik. Selulosa padat akan membentuk struktur mikrokristalin yang disebut daerah kristalin di daerah tinggi dan daerah amorf di daerah rendah. Selulosa juga membentuk mikrofiber kristal berbentuk batang memanjang kristal alami yang terjadi secara alami (monoklinik) (Jhon dan Thomas, 2008). Selulosa mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai pengadsorpsi karena adanya gugus -OH yang dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat (Kusumawardani dkk., 2018).

Nanokristal selulosa adalah struktur nanokristal individu yang diperoleh setelah dikeluarkan bagian amorf melalui reaksi hidrolisis dengan asam kuat dan ukuran partikel tergantung pada suhu, konsentrasi asam, dan waktu hidrolisis (Azeh, 2017). Ukuran selulosa dapat mempengaruhi distribusinya dalam matriks polimer. Dimana semakin kecil ukuran selulosa maka reaktivitasnya akan semakin meningkat karena dipengaruhi oleh atom-atom yang terdapat pada permukaan yang bersentuhan langsung dengan material lain (Hartati dkk., 2019).

Hidrolisis selulosa yang umum digunakan adalah menggunakan asam kuat. Asam kuat dapat menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa sehingga isolasi pada bagian kristal dapat dilakukan (Effendi dkk., 2015). Nanokristal yang berasal dari kapas diketahui dapat menghilangkan ion logam berat yaitu Pb^{2+} dan Cd^{2+} . Metode hidrolisis digunakan untuk mendapatkan nanokristal selulosa, kemudian nanokristal selulosa dimodifikasi secara kimia menggunakan anhidrat suksinat untuk mendapatkan *spherical cellulose nanocrystal* (SCNCs) dan diolah lebih lanjut dengan larutan $NaHCO_3$ jenuh untuk mendapatkan nanoadsorben sodik (NaSCNCs). Baik SCNC dan NaSCNC dapat digunakan untuk menghilangkan ion logam berat dari air. Kapasitas adsorpsi Pb^{2+} dan Cd^{2+} pada

SCNCs dan NaSCNCs meningkat dengan meningkatnya pH. *Isotherm* adsorpsi yang cocok yaitu dengan model Langmuir. Kapasitas adsorpsi maksimum SCNCs dan NaSCNCs untuk Pb^{2+} dan Cd^{2+} masing-masing adalah 367,6 mg/g, 259,7 mg/g dan 465,1 mg/g dan 344,8 mg/g (Yu dkk., 2013). Wulandari dkk., (2016) melakukan penelitian tentang pembuatan nanokristal selulosa dari ampas tebu yang dihidrolisis menggunakan asam. Hasil analisis TEM menunjukkan bahwa nanokristal selulosa memiliki morfologi berbentuk seperti bola dengan diameter rata-rata 111 nm.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini bertujuan memanfaatkan serat alami selulosa dari ampas tebu menjadi nanokristal selulosa dengan metode hidrolisis asam bertujuan untuk mengisolasi nanokristal selulosa. Nanokristal selulosa dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Particle Size Analyzer* (PSA), Spektrofotometer UV-Vis, dan Spektrofotometer FTIR. Nanokristal selulosa digunakan untuk mengadsorpsi ion timbal (II). Penentuan kapasitas adsorpsi dengan optimasi massa, pH, dan konsentrasi.

MATERI DAN METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Kimia lanjut, Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mataram.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer 250 mL, batang pengaduk, labu ukurl 1.000 mL, corong, oven, pH meter (pH-009 (I) A), seperangkat alat gelas, seperangkat alat soklet, seperangkat alat Spektrofotometer UV-Vis (Spectronic 200), sonikator, Spektrofotometer FTIR (Parkern Elmen-Spectrum Two AS), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Particle size analyzer* (PSA), spatula, dan shaker.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $Pb(NO_3)_2$, H_2SO_4 , Etanol : Toluena (1:2), HCl, H_2O_2 , amilum, HNO_3 , KI, KIO_3 , kertas saring, limbah ampas tebu, dan NaOH.

Prosedur Kerja

1. Isolasi Selulosa dan Selulosa Mikrokrystal

Preparasi sampel ampas tebu mengacu pada penelitian Wulandari dkk (2016). Ampas tebu dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian dipotong kecil-kecil. Ampas tebu yang dipotong itu digiling menjadi bubuk. Pada proses isolasi selulosa mengacu pada prosedur yang telah dilakukan oleh Kunusa (2017) dan dilakukan beberapa tahap yaitu *dewaxing*, penghilangan pati, De-Hemiselulosa, delignifikasi dan *bleaching*. Tahap *dewaxing* sebanyak 12 g sampel diekstraksi dengan 240 mL etanol:toluene (1:2) selama 4 jam pada suhu 85 °C menggunakan metode soxhlet. Residu bebas senyawa ekstraktif kemudian dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 60 °C. Sampel ditimbang dan dihitung rendemennya.

Pada proses penghilangan pati dilakukan dengan cara ekstraksi dengan air panas, dilakukan secara berulang-ulang sampai sampel bebas pati. Residu bebas pati dikeringkan dalam oven suhu 60 °C selama 4 jam. Ditimbang dan dihitung rendemennya. Selanjutnya yaitu tahap De-Hemiselulosa sebanyak 5 g residu bebas pati dan ekstraktif dilarutkan kedalam 100 mL NaOH 4 % dipanaskan pada suhu 85 °C selama 2 jam, didinginkan dan disaring. Pencucian residu menggunakan aquadest sampai pH netral. Residu bebas hemiselulosa dikeringkan dalam oven suhu 60 °C selama 4 jam. Ditimbang dan hitung rendemen.

Pada tahap delignifikasi digunakan residu kering bebas hemiselulosa ditimbang sebanyak 50 g dimasukkan kedalam erlenmeyer 1000 mL ditambahkan larutan HCl 25 % sebanyak 120 mL ; 50 mL H₂O₂ 10 % dan aquadest 400 mL direfluks selama 2 jam suhu 60 °C. Selanjutnya disaring menggunakan pompa vakum, dibilas dan dinetralkan dengan aquadest hingga pH netral. Kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C selama 4 jam. Ditimbang dan dihitung rendemen. Pada proses terakhir yaitu *bleaching* digunakan Residu kering selulosa dimasukkan ke dalam erlenmeyer 1000 mL ditambahkan larutan HCl 37 % 100 mL ; H₂O₂ 38 % 150 mL dan aquadest 100 mL. Direfluks selama 2 jam pada suhu 60 °C. Selanjutnya disaring dan dinetralkan dengan aquadest hingga pH netral. Residu hasil *bleaching* dikeringkan pada suhu 40 °C selama 24 jam ditimbang dan dihitung rendemen.

2. Sintesis Nanokristal Selulosa

Proses sintesis nanokristal selulosa mengacu pada penelitian Mandal dan Chakdabarty (2011). Produk selulosa yang diperoleh kemudian dihidrolisis dengan asam kuat H_2SO_4 . Konsentrasi asam sulfat yang digunakan yaitu 60%. Asam sulfat dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan dipanaskan pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam dengan perbandingan rasio 1:20 sampel terhadap larutan. Hidrolisis dihentikan dengan menambahkan akuades sebanyak 500 mL, kemudian didinginkan pada suhu kamar. Campuran selanjutnya disentrifugasi selama 5 menit pada kecepatan 3.000 rpm. Fraksi dicuci terus menerus dengan menambahkan akuades dan sentrifugasi dihentikan setelah 5 kali pencucian. Suspensi yang terbentuk kemudian disonikasi selama 20 menit dalam penangas es untuk menghindari panas berlebih. Suspensi yang dihasilkan di oven dengan suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ sampai berbentuk padatan atau hilangnya kadar air.

3. Karakterisasi

Karakterisasi nanokristal selulosa ampas tebu menggunakan XRD, PSA dan FTIR. *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan tingkat kristalinitas nanokristal selulosa, *Particle size analyzer* (PSA) digunakan untuk mengetahui ukuran partikel nanokristal selulosa, sedangkan untuk identifikasi gugus fungsi yang terdapat nanokristal selulosa ampas tebu menggunakan Spektrofotometer FTIR.

4. Adsorpsi Ion Timbal

Pada proses adsorpsi diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 30 menit menggunakan erlenmeyer 100 mL ditambahkan masing-masing larutan Pb^{2+} dengan konsentrasi 50 ppm. Penentuan pada adsorpsi ion timbal menggunakan variasi massa adsorben 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, dan 1 g, variasi pH 3, 5, 6, dan 8, dan variasi konsentrasi 15, 25, 35, 50, 75 dan 100 ppm pada suhu kamar ($25\text{ }^\circ\text{C}$) untuk mengetahui jenis *isotherm* yang digunakan. Penyesuaian pH dilakukan dengan menambahkan 0,1 M NaOH dan 0,1 M HCl. Masing-masing larutan ditambahkan 0,3 mL larutan iodida 500 ppm, kemudian ditambahkan 1 mL larutan asam nitrat (HNO_3) 1 M, kemudian ditambahkan 0,35 mL larutan iodidat 50 ppm dan ditambahkan 1 % amilum sebanyak 0,5 mL. Setelah itu disaring dengan menggunakan kertas saring. Dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis

dengan panjang gelombang maksimum. Kapasitas adsorpsi q_e (mg/g) dihitung menggunakan persamaan:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} \times V$$

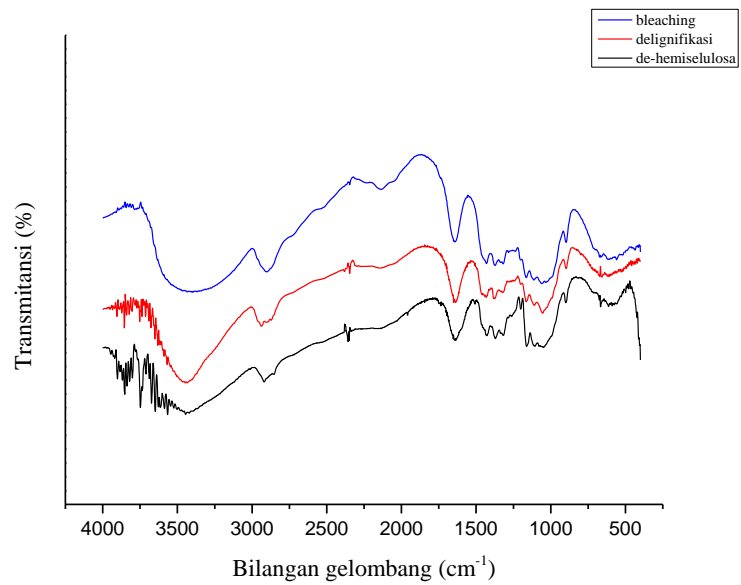
dimana q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_o adalah konsentrasi awal logam (mg/L), C_e adalah konsentrasi akhir logam (mg/L), m adalah massa adsorben (g) dan V adalah volume larutan logam (L).

HASIL DAN DISKUSI

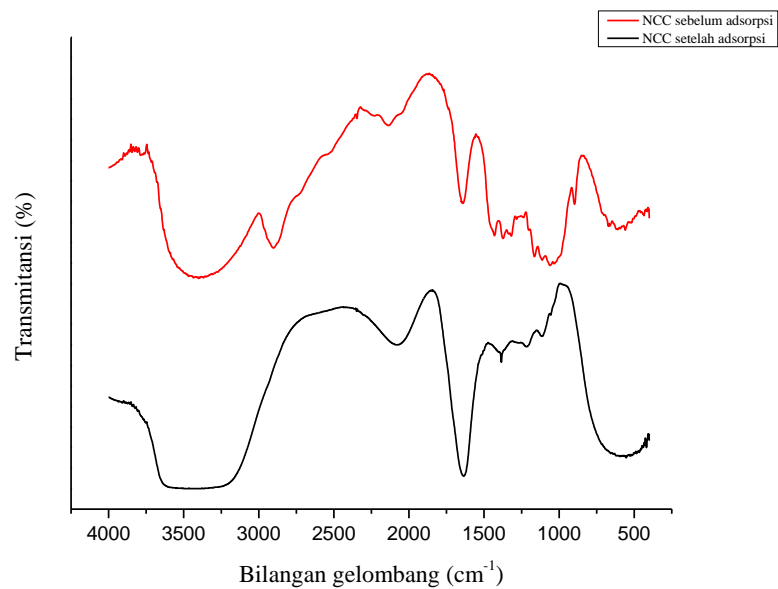
Isolasi nanokristal selulosa diawali dengan proses mengubah ampas tebu menjadi mikrokristal selulosa. Proses mikrokristal selulosa terdiri dari tahapan utama yaitu penghilangan hemiselulosa, delignifikasi (penghilang lignin), dan *bleaching* atau proses pemutihan untuk menghasilkan produk mikrokristal selulosa. Produk *bleaching* yang diperoleh dari proses isolasi selulosa diubah menjadi nanokristal selulosa. Pembuatan nanokristal selulosa menggunakan metode hidrolisis asam. Penggunaan asam bertujuan untuk memecah bagian amorf kristalin selulosa. Hidrolisis asam melibatkan reaksi esterifikasi gugus hidroksil selulosa dengan ion sulfat pada permukaan selulosa sehingga mengakibatkan suspensi kristal stabil tanpa mengubah gugus fungsi selulosa. Campuran disentrifugasi dan dicuci dengan aquades untuk memisahkan koloid suspensi dan menetralkan serta menghilangkan sisa asam. Dilakukan sonikasi yang bertujuan untuk memisahkan kristal sehingga menghasilkan partikel yang kecil dan mengurangi terjadinya pengumpalan.

Spektra FTIR pada gambar 1 menunjukkan pelebaran pada gugus O-H pada bilangan gelombang 3425 cm^{-1} , pada bilangan gelombang 2910 cm^{-1} menunjukkan serapan gugus fungsi C-H dan gugus fungsi CH_2 simetris pada bilangan gelombang 1428 cm^{-1} merupakan gugus fungsi dari selulosa. Hilangnya hemiselulosa melalui perlakuan menggunakan NaOH dengan tidak ditemukannya puncak 1728 cm^{-1} yang mewakili ikatan C=O pada proses delignifikasi dan *bleaching*. Untuk serapan lignin di tunjukkan dengan adanya gugus fungsi C=C, C-O pada bilangan gelombang gelombang 1653 cm^{-1} , 1293 cm^{-1} . Keberadaan selulosa juga diduga munculnya serapan pada panjang gelombang 896 cm^{-1} yang

menandakan adanya ikatan β -glikosidik diantara unit glukosa dalam selulosa, hasil ini mendekati hasil yang ditemukan oleh (Evans dkk., 2019) yaitu pada panjang gelombang 900 cm^{-1} .



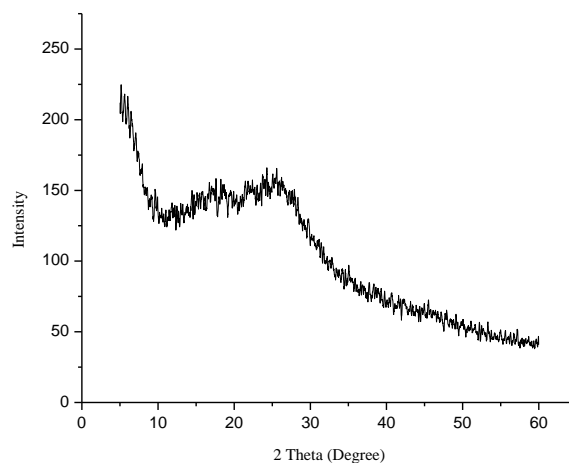
Gambar 1. Spektrum FTIR : (a) hemiselulosa, (b) delignifikasi, (c) *bleaching*



Gambar 2. Spektrum FTIR nanokristal selulosa-ion Pb(II)

Analisis FTIR pada gambar 2 menunjukkan adanya interaksi adsorben dengan ion logam yang ditunjukkan dengan adanya pita serapan pada panjang gelombang 587 cm^{-1} . Hasil spektra adsorben setelah diadsorpsi memiliki kemiripan yang tidak terlalu signifikan yaitu terjadi pergeseran bilangan gelombang, panjang gelombang 570 cm^{-1} yang menunjukkan serapan Cu-O (Nurmalasari dkk., 2015).

Hasil pengukuran menggunakan PSA, nanokristal selulosa yang dihasilkan dengan proses hidrolisis asam dan ultrasonikasi memiliki ukuran partikel sebesar $0,7998 \times 10^{-9}\text{ nm}$. Dari data pengukuran menggunakan *Particle Size Analyzer* didapatkan *polydisperse index* sebesar 1,00. Dimana semakin kecil ukuran suatu atom maka semakin meningkat pula reaktivitasnya, hal tersebut dipengaruhi oleh atom-atom yang berada pada permukaan dan bersentuhan dengan langsung dengan metrial lain (Hartati dkk., 2019). Difraktogram XRD pada gambar 3 menunjukkan bahwa sampel selulosa memiliki daerah kristalin dan daerah amorf (derajat kristalinitas), menunjukkan hasil analisis XRD nanokristal selulosa dari ampas tebu memiliki puncak tertinggi pada $2\theta = 25,263^\circ$ dan pada $2\theta = 17,634^\circ$. Adanya daerah amorf pada spektrum XRD diatas disebabkan oleh masih terdapat kandungan lignin yang dapat diketahui melalui hasil identifikasi pada spektrum IR.



Gambar 3. Spektrum XRD Nanokristal Selulosa.

Uji adsorpsi nanokristal selulosa terhadap ion Pb (II) dari pengaruh variasi massa, pH, dan konsentrasi adsorben serta mengidentifikasi jenis *isotherm* adsorpsi. Pada uji variasi massa dihasilkan adsorpsi optimum pada massa 0,2 g. Peningkatan

adsorpsi ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah adsorben yang berinteraksi dengan logam timbal maka efisiensi penyerapan Pb^{2+} semakin tinggi. Selanjutnya pada uji variasi pH menunjukkan adsorpsi optimum pada pH 6 dan Penurunan adsorpsi pada pH 8 dikarenakan konsentrasi ion hidroksida meningkat dan ion logam pada kondisi basa akan mengendap terbentuk endapan $Pb(OH)_2$. Pada variasi konsentrasi adsorpsi optimum pada konsentrasi 75 ppm sebesar 1,877 mg/g. Hal tersebut disebabkan semakin besar konsentrasi larutan logam maka akan semakin banyak ion logam timbal yang berinteraksi dengan adsorben sehingga adsorpsi masih berjalan dengan optimal. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari nilai R^2 untuk model *isotherm* Langmuir adalah 0,96176 sedangkan *isotherm* Freundlich adalah 0,86835 . *Isotherm* Langmuir dan Freundlich memiliki nilai $R^2 = 1$ atau mendekati 1, namun *isotherm* Langmuir memiliki nilai R^2 lebih besar dibandingkan Freundlich. Jadi penggunaan model *isotherm* untuk adsorpsi Pb^{2+} menggunakan nanokristal selulosa adalah model *isotherm* Langmuir. *Isotherm* Langmuir mengansumsikan bahwa adsorpsi disebabkan oleh penyerapan ion Pb^{2+} untuk mengadsorpsi permukaan nanokristal selulosa.

KESIMPULAN

Karakterisasi FTIR nanokristal selulosa dari ampas tebu menunjukkan pelebaran pada gugus O-H, serapan gugus fungsi C-H, dan gugus fungsi CH_2 simetris merupakan gugus fungsi dari selulosa. Karakterisasi hasil pengukuran menggunakan PSA sebesar 1,084 nm dan karakterisasi XRD menunjukkan hasil analisis nanokristal selulosa dari ampas tebu memiliki puncak tertinggi pada $2\theta = 25,263^\circ$ dan pada $2\theta = 17,634^\circ$. Variasi, massa, pH, dan konsentrasi mempengaruhi kapasitas adsorpsi Pb^{2+} . Pada penelitian ini didapatkan variasi massa optimum pada 0,2 g, variasi pH optimum pada pH 6, dan variasi konsentrasi optimum pada 75 ppm. Model *isotherm* yang digunakan pada penelitian ini yaitu model *isotherm* Langmuir dimana nilai R^2 yang diperoleh yaitu sebesar 0,96176 dimana nilai R^2 mendekati 1.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dosen pembimbing dan pembahas yang telah memberikan kritik, saran, ilmu, serta meluangkan waktu selama penelitian dan penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Azeh, Y., 2017, Synthesis And Characterization Of Cellulose Nanoparticles And Its Derivatives Using a Combination Of Spectro-analytical Techniques, *International Journal of Nanotechnology in Medicine and Engineering* 2: 6-65.
- Effendi, D. B., Nurul, H. R., Asep, B. D., dan Ahmad, M., 2015, Review: Sintesis Nanoselulosa, *Jurnal Integrasi Proses* 5(2): 61-74.
- Evans, S. K., Wesley, O. N., Nathan, O., dan Moloto, M. J., 2019, Chemically Purified Cellulose and Its Nanocrystals From Sugarcane Baggase: Isolation and Characterization, *Heliyon* 5: 1-7.
- Hartati, N., Kemala, T., Sutriah, K., dan Farobie, O., 2019, Kompatibilitas Nanokristal Selulosa Termodifikasi Setrimonium Klorida (CTAC) dalam Matriks Poliasam Laktat sebagai Material Pengemas, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 22(4): 157-163.
- Jhon, M. J., dan Thomas, S., 2008, Bioofibres and Biocomposit, *Carbohydrate Polymers* 71: 343-364.
- Kunusa, W. R. (2017). Kajian Tentang Isolasi Senyawa Mikrokristalin (SM) Dari Limbah Tongkol Jagung. *Jurnal Entropi*, 12(1), 105-108.
- Kusumawardani, R., Zaharah, T. A., dan Destiarti, L., 2018, Adsorpsi Kadmium (II) Menggunakan Adsorben Selulosa Ampas Tebu Teraktivasi Asam Nitrat, *Jurnal Kimia Khatulistiwa* 7(3): 75-83.
- Mandal, a., dan Chakrabarty, D., 2011, Isolation of Nanocellulose From Waste Sugarcane Bagasse (SCB) And Its Characterization, *Carbohydrate Polymers* 86: 1291-1299.
- Motaung, T., dan Anandjiwala, R., 2015, Effect of Alkali and Acid Treatment on Thermal Degradation Kinetics of Sugar Cane Bagasse, *Industrial Crops and Products* 74: 472-477.
- Nurmalasari, D., Hastuti, R., & Widodo, D. S., 2015, Pengaruh Penambahan Polivinil Alkohol Pada Biomassa Tongkol Jagung-Bulu Ayam Sebagai Adsorben Campuran Ion Logam Tembaga dan Kromium, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 18(1): 18-23.
- Royyani, M.F dan Lestari V.B., 2009, Peran Indonesia dalam Penciptaan Peradaban Dunia: Perspektif Botani. Herbarium Bogoriense, Puslit biologi, LIPI.
- Wulandari, W. T., Rochliadi, A., dan Arcana, I. M., 2016, Nanocellulose Prepared By Acid Hydrolysis Of Isolated Cellulose From Sugarcane Bagasse, *Materials Science and Engineering* 107: 1-8.
- Yu, X., Shengrui, T., Maofa, G., Lingyan, W., Junchao, Z., Changyan, C., dan Weigo, S., 2013, Adsorption of Heavy Metal Ion From Aqueous Solution by Carboxylated Cellulose Nanocrystals, *Journal Of Environmental Sciences* 25(5): 933-943.

