MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i4.10937

PENGARUH KONSENTRASI OKSIDASI NaIO4 DAN NaCIO TERHADAP PEMBENTUKAN GUGUS KARBONIL PADA PERMUKAAN SELULOSA SEBAGAI ADSORBEN UNTUK ADSORPSI LOGAM Pb(SO4)

The Effect of NaIO4 and NaCIO Oxidation Concentrations on the Formation of Carbonyl Groups on the Cellulose Surface as an Adsorbent for Pb(SO4) Metal Adsorption

Sri Rahma & Jon Efendi
Universitas Negeri Padang
srirahma2007jl@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
May 14, 2026	Jun 11, 2026	Jun 25, 2026	Jun 30, 2026

Abstract

Heavy metal pollution, particularly lead (Pb), has become an urgent environmental issue, thereby requiring the development of effective and sustainable adsorbent materials. Cellulose, as a natural biopolymer, has potential as an adsorbent, but its adsorption capacity remains limited due to the low number of active groups on its surface. This study aims to evaluate the effect of sodium periodate ($NaIO_4$) and sodium hypochlorite (NaClO) concentrations on the formation of carbonyl groups in cellulose as a prospective adsorbent for Pb ions. This study used a laboratory experimental method by modifying cellulose through variations in $NaIO_4$ concentrations of 0.01 M and 0.02 M, followed by an oxidation process using NaClO. The modified products were characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify changes in functional groups after the oxidation process. The FTIR analysis results showed the presence of an absorption peak at a

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

wavenumber of 1641 cm^{-1}, indicating the formation of carbonyl groups (C=O), as well as absorption peaks at 3333.9 cm^{-1} and 1030 cm^{-1}, which respectively indicated the presence of O–H and C–O groups characteristic of cellulose. Increasing the oxidant concentration resulted in a higher carbonyl peak intensity, indicating an increased degree of oxidation on the cellulose surface. Thus, cellulose modification using $NaIO_4$ and NaClO was proven to increase the number of active groups on the cellulose surface. These findings contribute to the development of environmentally friendly biomass-based adsorbent materials with potential use for the adsorption of heavy metal ions, particularly Pb.

Keywords: Modified Cellulose; Sodium Periodate; Sodium Hypochlorite; Carbonyl Groups; Lead Ion Adsorbent

Abstrak: Pencemaran logam berat, khususnya timbal (Pb), menjadi isu lingkungan yang mendesak sehingga diperlukan pengembangan bahan adsorben yang efektif dan berkelanjutan. Selulosa sebagai biopolimer alami memiliki potensi sebagai adsorben, tetapi kemampuan adsorpsinya masih terbatas karena rendahnya jumlah gugus aktif pada permukaannya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh konsentrasi natrium periodat ($NaIO_4$) dan natrium hipoklorit (NaClO) terhadap pembentukan gugus karbonil pada selulosa sebagai calon adsorben ion Pb. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan memodifikasi selulosa melalui variasi konsentrasi $NaIO_4$ sebesar 0,01 M dan 0,02 M, yang dilanjutkan dengan proses oksidasi menggunakan NaClO. Produk hasil modifikasi dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi setelah proses oksidasi. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 1641 cm^{-1} yang mengindikasikan terbentuknya gugus karbonil (C=O), serta puncak serapan pada 3333,9 cm^{-1} dan 1030 cm^{-1} yang masing-masing menunjukkan keberadaan gugus O–H dan C–O khas selulosa. Peningkatan konsentrasi oksidator menghasilkan intensitas puncak karbonil yang lebih tinggi, yang menunjukkan meningkatnya tingkat oksidasi pada permukaan selulosa. Dengan demikian, modifikasi selulosa menggunakan $NaIO_4$ dan NaClO terbukti mampu meningkatkan jumlah gugus aktif pada permukaan selulosa. Temuan ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan material adsorben berbasis biomassa yang ramah lingkungan dan berpotensi digunakan untuk penyerapan ion logam berat, khususnya Pb.

Kata Kunci: Selulosa Termodifikasi; Natrium Periodat; Natrium Hipoklorit; Gugus Karbonil; Adsorben Ion Timbal

PENDAHULUAN

Selulosa merupakan polimer organik paling banyak melimpah di bumi, Sebagai biopolimer, selulosa memainkan peran penting dalam memberikan integritas struktural dan kekakuan pada tumbuhan, membantu tumbuhan mempertahankan bentuknya dan menahan tekanan mekanis (Marinho, 2025). Ketersediannya yang cukup besar sifatnya yang dapat di perbaruhi, mudah terurai secara hayati(Missoum et al., 2013). Dalam beberapa tahun terakhir, selulosa semakin menarik perhatian karena kompatiblitas biologisnya, biodegradabilitasnya,

nilai ekonominya, sifat mekaniknya yang tinggi, luas permukaannya yang besar, tidak beracun, sehingga menjadikannya alternatif yang ramah lingkungan untuk bahan sintetis dalam banyak aplikasi. Struktur dari selulosa terdiri atas unit β-D-glukopiranosa(Abdel-Halim, 2014). Namun selulosa yang belum dimodifikasi memiliki kemampuan menyerap yang cukup rendah karena jumlah gugus fungsi kelompok aktif yang dapat berinteraksi dengan ion logam berat cukup terbatas (Sanjaya & Maliki, 2013)

Senyawa ini mengandung kelompok hidroksil (-OH) yang dapat dengan mudah dimodifikasi secara kimia untuk meningkatkan kemampuan dalam menyerap ion logam (Abdel-Halim, 2014). Oleh sebab itu, modifikasi permukaan selulosa diperlukan untuk meningkatkan jumlah gugus aktif dan kemampuan interaksi antara permukaan selulosa dengan ion logam yang ingin ditargetkan. Selain itu proses oksidasi yang memanfaatkan bahan seperti natrium periodat dan natrium hipoklorit (NaOCl) bisa mengubah gugus –OH menjadi gugus karbonil atau karboksilat, tergantung pada kondisi reaksi yang diterapkan Hal ini dapat meningkatkan ketertarikan gugus terhadap ion logam melalui cara kompleksasi atau pertukaran ion(Scott et al., 1993). Selulosa teroksidasi, yaitu selulosa yang telah dimodifikasi pada gugus fungsionalnya sehingga dapat meningkatkan kemampuannya dalam menyerap logam berat(Missoum et al., 2013). Penelitian yang di lakukan oleh (Daochalermwong et al., 2020) menunjukan bahwa selulosa teroksidasi memiliki kapasitas adsorpsi yang baik dengan adanya penambahan gugus fungsi pada permukaan selulosa. Kebaruan dari penelitian ini pada penggunaan kombinasi oksidasi natrium periodat dan natrium hipoklorit dengan variasi kosentrasi tertentu(Abiodun et al., 2023)

Walaupun banyak studi telah menyatakan keberhasilan modifikasi selulosa melalui oksidasi untuk meningkatkan kemampuan penyerapan logam berat, penelitian tentang dampak kombinasi natrium periodat ($NaIO_4$) dan natrium hipoklorit (NaClO) dengan variasi konsentrasi oksidator terhadap pembentukan gugus karbonil masih sedikit. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya menitikberatkan pada penggunaan satu jenis oksidator atau lebih fokus pada kapasitas penyerapan tanpa menyelidiki secara mendalam perubahan gugus fungsi yang terbentuk di permukaan selulosa(Rasheed et al., n.d.). Sementara itu, keberadaan gugus karbonil dan karboksilat adalah elemen penting yang menentukan kemampuan adsorben dalam berinteraksi dengan ion logam melalui mekanisme kompleksasi atau pertukaran ion (Calvini et al., 2006)

Secara teori, proses oksidasi yang melibatkan natrium periodat berlangsung secara spesifik pada atom karbon C2 dan C3 dari unit anhidroglukosa dalam selulosa, yang menghasilkan dialdehida selulosa (DAC). Setelah itu, oksidasi tambahan dengan natrium hipoklorit dapat meningkatkan jumlah gugus yang teroksidasi menjadi gugus karbonil atau karboksilat, yang berfungsi sebagai situs aktif untuk adsorpsi. Penambahan gugus fungsi ini diperkirakan dapat memperkuat afinitas permukaan selulosa terhadap ion logam berat, termasuk ion Pb^{2+}. Oleh karena itu, karakterisasi gugus fungsi hasil modifikasi adalah langkah krusial untuk menilai keberhasilan proses oksidasi serta potensi penggunaannya sebagai adsorben (Daochalermwong et al., 2020).

Berdasarkan penjelasan yang ada, inovasi dari studi ini terletak pada penerapan kombinasi oksidasi bertahap menggunakan $NaIO_4$ dan NaClO dengan variasi konsentrasi tertentu untuk mendorong terbentuknya gugus karbonil di permukaan selulosa. Fokus penelitian ini adalah mempelajari dampak konsentrasi oksidator terhadap perubahan gugus fungsi selulosa yang dianalisis menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas modifikasi selulosa melalui pembentukan gugus karbonil dan menilai potensinya sebagai bahan adsorben untuk menyerap ion timbal (Pb^{2+}).

METODE

Penelitian ini Adalah penelitian eksperimen laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh kosentrasi $NaIO_4$ dan NaCIO terhadap modifikasi permukaan selulosa mikrostalin dalam penambahan gugus karbonil untuk meningkatkan adsorpsi pada ion $Pb(SO_4)$. Variabel bebas dari penelitian ini merupakan variasi kosentrasi, variable terikat massa adsorben 0,2 gram. Penelitian di laksanakan pada bulan febuari-april 2026 di laboratorium kimia universitas negri padang. Penelitian ini menggunakan beberapa variasi pada natrium periodat dengan variasi 0,01 M dan 0,02 M, sampel yang digunakan pada penelitian ini Hemiselulosa.

Alat dan Bahan :

1. Alat :

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut : gelas kimia 100 ml, Erlenmeyer 250 ml, kondesor, *refluk*, pipet tetes, kaca arlogi, timbangan analit, labu ukur

50ml ,100 ml, dan 250 ml, kertas saring, *magnetic stirer*, satu set alat sonikasi, pH meter, oven, batang pengaduk, porslen, labu leher 3, tutup labu, spatula, pipit volumetric, spin bar*, FTIR, Shaker.*

2. Bahan :

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: selu losa, Natrium periodat ($NaIO_4$), Sodium Hipoklorit (NaCIO), aquades, isopropanol,NaOH, Asam Asetat (HNO3).

3. Oksidasi permukaan selulosa menggunakan Natrium periodat ($NaIO_4$) dan Natrium Hipoklorit (NaCIO)

Selulosa dimodifikasi melalui proses oksidasi menggunakan natrium periodat sebagai oksidator. Sebanyak 1 gram selulosa di larutkan ke dalam 100 ml air, kemudian disiapkan larutan $NaIO_4$ dengan kosentrasi berbeda 0,535 gr (0,01 mol), 1,07 gr (0,02 mol), masing-masing di larutkan dalam 10 ml aquades sesuai perbandingan yang telah di tentukan. Selanjutnya larutan $NaIO_4$ di tambahkan secara perlahan ke dalam larutan selulosa sambil diaduk hingga tercampur homogen. Kemudian ditambahkan isopropanol sebanyak 3,15 ml yang berfungsi sebagai agen penangkap radikal bebas. Proses reaksi dilakukan dalam kondisi gelap. Larutan diaduk menggunakan magnetic strirer selama 2,5 jam pada suhu 50°C. Setelah itu campuran di sonikasi selama 30 menit untuk memperoleh suspense. Selanjutnya ditambahkan 5 ml etanol untuk menekan sisa periodat, kemudian campuran didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Setelah itu larutan di saring dengan menggunakan kertas saring dan dicuci menggunakan aquades, Selanjutnya endapan yang di dapatkan di keringkan pada suhu ruang.

a. Oksidasi permukaan selulosa menggunakan natrium hipoklorit NaCIO

Sebanyak 1 gram selulosa dilarutkan ke dalam 100 ml air di dalam gelas kimia. Setelah itu ditambahkan NaCIO sebanyak 19,95 ml (1,19 Mol) lalu di tambahkan larutan *buffer* untuk penyesuaian pH sampai pH 12,5. Setelah itu larutan di masukan ke dalam labu leher tiga, selanjutnya pasang kondesor, lalu di panaskan dengan sistem refluk pada suhu 100°C selama 3 jam, campuran didinginkan hingga suhu ruang, endapan disaring menggunakan kertas saring kemudian di cuci menggunakan aquades. Produk yang dihasilkan di keringkan dengan oven pada suhu 60 °C selama 2 jam. Setelah itu filtrat yang selesai di analisis menggunakan instrumen FT-IR*(Fourier Transform InfraRed)*

4. Adsorpsi ion logam $Pb(SO_4)$

a. Pembuatan larutan $Pb(SO_4)$ dengan kosentrasi 1.000 ppm

Dengan cara menimbang 1,5989 gram $Pb(SO_4)$ dan selanjutnya dilarutkan dengan aquadest di dalam gelas kimia berkapasitas 100 ml. Larutan tersebut dimasukan ke dalam labu ukur 1000 ml yang telah diisi dengan sedikit aquades terlebih dahulu dan tambahkan setetes HNO_3 (p.a), selanjutnya di tambahkan aquades hingga mencapai tanda batas dan dihomogenkan.

b. Pembuatan larutan $Pb(SO_4)$ dengan kosentrasi 50 ppm

Memipet sebanyak 5 ml dari larutan induk, selanjutnya di masukan ke dalam labu 100 ml labu ukur tambahkan aquades hingga tanda batas dan di homogenkan.

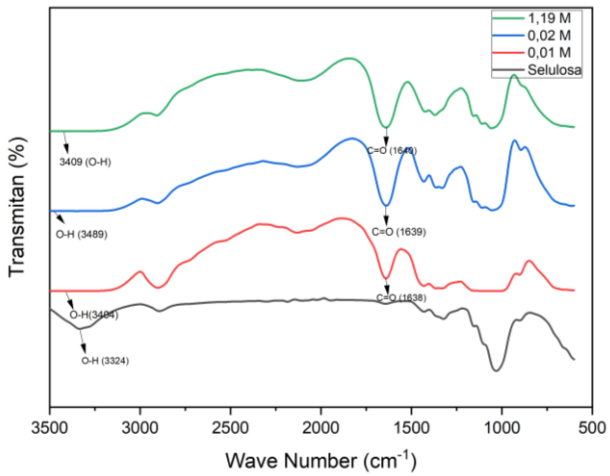
c. Adsorpsi ion $Pb(SO_4)$

Sebanyak 50 ml larutan Pb^{2+} berkosentrasi 50 ppm disiapkan pada pH 4 dengan penyesuaian menggunakan larutan HCL 5%. Setiap larutan dikontakan dengan 0,2 gram adsorben, selanjutnya larutan tersebut di *shaker* menggunakan sistem *bacth* dengan kecepatan pengadukan 180 rpm selama waktu 60 menit. Setelah adsorpsi selesai larutan disaring , filtrat yang di peroleh dikumpulkan dan di analisis menggunakan AAS.

HASIL :

1. Karakterisasi menggunakan FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi pada permukaan selulosa setelah modifikasi menggunakan $NaIO_4$ dan NaCIO. Daerah infared dalam spektrum gelombang elektromagnetik berada pada rentangan 3500- 500 cm^{-1}. Spektrum FTIR oksidasi natrium periodat dan natrium hipoklorit disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FTIR Modifikasi selulosa.

Berdasarkan Gambar 1, Spektrum FTIR oksidasi natrium periodat dan natrium hipoklorit menunjukan adanya pita seraoan khas pada bilang gelombang 1641 cm^{-1} yang mengindetifikasikan bahwa oksidasi dengan natrium periodat dan natrium hipoklorit menandakan terbentuk nya gugus aldehid.

2. Karakterisasi Menggunakan AAS

Analisis dengan menggunakan Spektrofotometri Penyerapan Atom (AAS) dilaksanakan untuk mengukur konsentrasi ion Pb^{2+} dalam larutan baik sebelum maupun setelah proses penyerapan oleh selulosa yang telah dimodifikasi. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk menilai seberapa efektif adsorben yang telah dimodifikasi dengan $NaIO_4$ dan NaClO dalam mengikat ion logam berat. Pada tabel 2 Hasil adsorpsi pada sampel NaClO 1,19 M menunjukkan nilai Pb^{2+} teradsorpsi sebesar 50,242 ppm, sedikit lebih tinggi dibandingkan konsentrasi awal larutan (50 ppm). Secara teoritis nilai adsorpsi tidak dapat melebihi konsentrasi awal logam dalam sampel. Persentase adsorpsi ion Pb^{2+} dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{C0-Ce}{C0} \text{ X } 100$$

Dengan:

- C0 =kosentrasi awal ion Pb^{2+} mg/L
- Ce = Kosentrasi akhir ion Pb^{2+} mg/L

Tabel 2. Kapasitas Penyerapan Ion logam Pb2+

Kosentrasi zat (ppm)	Zat terserap (ppm)	% zat terserap
50 ppm_0,01M	31,710 ppm	63,2 %
50 ppm_0,02 M	33,778 ppm	67,2 %
50 ppm_1,19 M	50,242 ppm	99,9 %

PEMBAHASAN

Modifikasi permukaan selulosa dilakukan untuk meningkatkan jumlah gugus aktif yang tersedia pada permukaan adsorben sehingga kemampuan pengikatan ion logam menjadi lebih tinggi. Natrium periodat mengoksidasi gugus hidroksil sekunder pada atom karbon C2 dan C3 dari unit anhidriglukosa selulosa. Reaksi ini berlangsung secara selektif. Hasil oksidasi ini menyebabkan penambahan gugus karboksil yang bertujuan untuk membentuk interaksi

kompleks dengan ion logam. Gugus aldehid yang terbentuk untuk meningkat reaktivitas permukaan selulosa.

1. Krakterisasi FTIR Permukaan selulosa menggunakan $NaIO_4$ dan NaCIO

Analisis FTIR dilakukan untuk mengindentifikasi perubahan gugus fungsi yang terjadi pada selulosa setelah proses modifikasi menggunakan natrium periodat dan natrium hipoklorit. Spektrum FTIR menunjukan adanya perbedaan karakterisasi antara selulosa yang belum dimodifikasi dan sesudah modifikasi(Abdel-Halim, 2014) . Pada spektrum selulosa ,pita seraoan yang kuat muncul pada daerah sekitar 1030 Cm^{-1} , yang merupakan karaterisasi utama pada selulosa yang menunjukan adanya ikatan glikosidik dalam rantai polimer selulosa(Abdel-Halim, 2014). Perubahan yang menonjol terlihat pada daerah relating terlihat pada bilangan gelombang 1641 Cm^{-1} . Pada selulosa awal, pita pada daerah ini relatif lemah, sedangkan pada selulosa termodifikasi terjadi peningkatan intensitas yang cukup signifikan. Pita serapan pada kisaran 1600–1700 cm^{-1} umumnya dikaitkan dengan vibrasi gugus karbonil (**C=O**) yang berasal dari aldehid maupun karboksilat hasil oksidasi. Meningkatnya intensitas pita pada 1641 cm^{-1} menunjukkan bahwa natrium periodat telah berhasil mengoksidasi gugus hidroksil sekunder pada atom karbon C2 dan C3 unit glukosa menjadi gugus aldehid sehingga terbentuk dialdehyde cellulose (DAC).

Berdasarkan gambar FTIR, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi oksidator dari 0,01 M hingga 1,19 M menyebabkan intensitas pita karbonil menjadi semakin jelas. F enomena ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi oksidator yang digunakan maka semakin banyak gugus hidroksil yang mengalami oksidasi menjadi gugus karbonil. Keberhasilan pada modifikasi selulosa dapat di lihat pada daerah 1640. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukan bahwa analisis FTIR dapat digunakan untuk menentukan gugus utama dalam struktur selulosa.sebagai contoh pada penelitian (Su et al., 2015) Menampilkan serapan pita sekitar 3400 cm-1 yang menunjukan rengangan O=H dari senyawa selulosa, puncak 2931 cm-1 berkaitan dengan getaran simestris CH2 puncak 1602 Cm^{-1} menunjukan gugus karbonil C=O karbonil.

Hasil FTIR dalam penelitian ini juga memperlihatkan adanya pita absorpsi pada sekitar 1641 cm^{-1} yang menandakan terbentuknya gugus karbonil. Penemuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Abdel-Halim, 2014) yang mengungkap bahwa oksidasi selulosa dengan menggunakan periodat menghasilkan gugus aldehid, yang tercermin dari peningkatan intensitas absorpsi di area karbonil. Di samping itu, penelitian yang

dilakukan oleh (Overview et al., 2017) menunjukkan bahwa pertambahan jumlah gugus karbonil dan karboksilat pada material yang berbasis selulosa berperan dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi logam berat dari larutan.

2. Karakterisasi Menggunakan AAS

Modifikasi permukaan selulosa dengan menggunakan natrium periodat ($NaIO_4$) dan natrium hipoklorit (NaClO) bertujuan untuk meningkatkan jumlah grup aktif pada permukaannya, sehingga kemampuan selulosa dalam mengadsorpsi ion logam berat, terutama Pb^{2+}, menjadi lebih baik. Proses oksidasi yang dilakukan dengan $NaIO_4$ secara selektif memutuskan ikatan antara karbon C2 dan C3 pada unit anhidroglukosa dalam selulosa, menghasilkan grup dialdehida (–CHO). Sementara itu, oksidasi lanjut memakai NaClO dapat mengkonversi sebagian dari grup aldehida menjadi grup karboksilat (–COOH). Adanya grup karbonil dan karboksilat tersebut sangat berperan dalam pengikatan ion logam melalui mekanisme kompleksasi, pertukaran ion, dan interaksi elektrostatik yang mana penyerapan pada ion pb tersebut dapat dilihat pada gambar tabel 2.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Spektrofotometri Aplikasi Absorpsi Atom (AAS), ditemukan konsentrasi ion Pb^{2+} yang teradsorpsi yakni 31,710 ppm, 33,778 ppm, dan 50,242 ppm pada berbagai kondisi percobaan . Pada hasil pengukuran AAS diperoleh nilai ion Pb^{2+} yang teradsorpsi sebesar 50,242 ppm pada sampel yang dimodifikasi menggunakan NaClO 1,19 M. Nilai tersebut sedikit lebih tinggi dibandingkan konsentrasi awal larutan yaitu 50 ppm. Secara teoritis jumlah ion yang teradsorpsi tidak dapat melebihi konsentrasi awal logam yang terdapat dalam larutan. Data ini mengindikasikan bahwa kemampuan selulosa yang telah dimodifikasi dalam mengadsorpsi ion Pb^{2+} meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah kelompok aktif yang terbentuk di permukaan adsorben akibat proses oksidasi.Konsentrasi adsorpsi yang mencapai 31,710 ppm menunjukkan bahwa adsorben berhasil mengurangi sebagian dari ion Pb^{2+} dalam larutan. Hasil tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh penelitian (Kumar et al., 2021), bahwa oksidasi selulosa menyebabkan perubahan struktur permukaan dan peningkatan jumlah gugus fungsional yang dapat berinteraksi dengan ion logam melalui ikatan koordinasi maupun gaya elektrostatik. Meskipun begitu, jumlah situs aktif yang ada di permukaan adsorben masih tergolong terbatas, sehingga interaksi antara ion Pb^{2+} dengan gugus fungsional adsorben belum mencapai potensi maksimal. Dalam kondisi ini, keberadaan gugus hidroksil, aldehida, dan

karboksilat yang terbentuk karena proses oksidasi belum memadai untuk memberikan tempat pengikatan yang ideal.

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan adsorben berbasis biomassa yang ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat. Modifikasi selulosa menggunakan kombinasi $NaIO_4$ dan NaClO terbukti mampu meningkatkan jumlah gugus karbonil pada permukaan selulosa sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi ion Pb^{2+}. Penggunaan selulosa sebagai bahan dasar adsorben memiliki keunggulan karena bersifat terbarukan, mudah diperoleh, biodegradable, dan relatif murah dibandingkan adsorben sintetis.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Karakterisasi material hanya dilakukan menggunakan FTIR sehingga perubahan morfologi permukaan dan distribusi unsur setelah modifikasi belum dapat diamati secara langsung. Selain itu, penelitian belum mengevaluasi isoterm adsorpsi, kinetika adsorpsi, kapasitas adsorpsi maksimum (qmax), maupun stabilitas adsorben melalui uji leaching. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan menggunakan SEM-EDS, XRD, BET, serta kajian isoterm dan kinetika adsorpsi untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme adsorpsi Pb^{2+} pada selulosa termodifikasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, modifikasi permukaan selulosa menggunakan natrium periodat ($NaIO_4$) dan natrium hipoklorit (NaClO) berhasil meningkatkan kemampuan adsorpsi selulosa terhadap ion Pb^{2+}. Proses oksidasi menghasilkan pembentukan gugus karbonil dan karboksilat pada permukaan selulosa yang berfungsi sebagai situs aktif untuk mengikat ion logam. Hasil analisis AAS menunjukkan bahwa jumlah ion Pb^{2+} yang teradsorpsi meningkat dari 31,710 ppm menjadi 33,778 ppm dan mencapai nilai tertinggi sebesar 50,242 ppm. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin banyak gugus aktif yang terbentuk pada permukaan selulosa, semakin tinggi pula kemampuan adsorpsinya terhadap ion Pb^{2+}. Dengan demikian, selulosa termodifikasi $NaIO_4$–NaClO memiliki potensi yang baik sebagai adsorben ramah lingkungan untuk menghilangkan ion logam timbal dari larutan berair. Penelitian selanjutnya di sarankan melakukan karakterisasi SEM-EDS serta pengujian kapasitas adsorpsi ion Pb 2+ untuk mengevaluasi bagaimana penyerapan adsorben.

DAFTAR PUSTAKA

Abdel-Halim, E. S. (2014). Chemical modification of cellulose extracted from sugarcane bagasse: Preparation of hydroxyethyl cellulose. *Arabian Journal of Chemistry, 7*(3), 362–371. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.05.006

Acharya, S., Liyanage, S., Abidi, N., Parajuli, P., Rumi, S. S., & Shamshina, J. L. (2021). Utilization of cellulose to its full potential: A review on cellulose dissolution, regeneration, and applications. *Polymers, 13*(24), Article 4344. https://doi.org/10.3390/polym13244344

Al-Tamrah, S., & Al-Abbad, S. (2015). Spectrophotometric determination of procainamide hydrochloride using sodium periodate. *Arabian Journal of Chemistry, 8*(5), 609–613. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.02.004

Arndt, S., Kohlpaintner, P. J., Donsbach, K., & Waldvogel, S. R. (2022). Synthesis and applications of periodate for fine chemicals and important pharmaceuticals. *Organic Process Research & Development, 26*(9), 2564–2613. https://doi.org/10.1021/acs.oprd.2c00161

Atalla, R. H. (1990). The structures of cellulose. *MRS Proceedings, 197*, 89–98. https://doi.org/10.1557/PROC-197-89

Cai, C., Chen, X., Li, Y., & Jiang, Q. (2023). Advances in the role of sodium hypochlorite irrigant in chemical preparation of root canal treatment. *BioMed Research International, 2023*, Article 8858283. https://doi.org/10.1155/2023/8858283

Calvini, P., Gorassini, A., Luciano, G., & Franceschi, E. (2006). FTIR and WAXS analysis of periodate oxycellulose: Evidence for a cluster mechanism of oxidation. *Vibrational Spectroscopy, 40*(2), 177–183. https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2005.08.004

Daochalermwong, A., Chanka, N., Songsrirote, K., Dittanet, P., Niamnuy, C., & Seubsai, A. (2020). Removal of heavy metal ions using modified celluloses prepared from pineapple leaf fiber. *ACS Omega, 5*(10), 5285–5296. https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04326

Dewi, D. C. (2013). Determinasi Kadar Logam Timbal (Pb) dalam Makanan Kaleng Menggunakan Destruksi Basah dan Destruksi Kering. *Alchemy, 2*(1), 12–25. https://doi.org/10.18860/al.v0i0.2299

Dibha, A. F., Masruri, & Srihardyastutie, A. (2023). Degradable bioplastic developed from pine-wood nanocellulose as a filler combined with orange peel extract. *Indonesian Journal of Chemistry, 23*(1), 127–139. https://doi.org/10.22146/ijc.75520

Dwantari, I. P. S., & Wiyantoko, B. (2019). Analisa Kesadahan Total, Logam Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dalam Air Sumur dengan Metode Titrasi Kompleksometri dan Spektrofotometri Serapan Atom. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis), 2*(1), 11–19. https://doi.org/10.20885/ijca.vol2.iss1.art2

Hou, G., Chitbanyong, K., Takeuchi, M., Shibata, I., & Isogai, A. (2023). Comprehensive study of preparation of carboxy group-containing cellulose fibers from dry-lap kraft pulps by catalytic oxidation with solid NaOCl. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 11*(40), 14782–14792. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c04750

Jaihan, W., Mohdee, V., Sanongraj, S., & Pancharoen, U. (2022). Biosorption of lead(II) from aqueous solution using cellulose-based bio-adsorbents prepared from unripe papaya (*Carica papaya*) peel waste: Removal efficiency, thermodynamics, kinetics and

isotherm analysis. *Arabian Journal of Chemistry, 15*(7), Article 103883. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103883

Jamshaid, A., Hamid, A., Muhammad, N., Naseer, A., Ghauri, M., Iqbal, J., Rafiq, S., & Shah, N. S. (2017). Cellulose-based materials for the removal of heavy metals from wastewater: An overview. *ChemBioEng Reviews, 4*(4), 240–256. https://doi.org/10.1002/cben.201700002

Kesar, S., & Bhatti, M. S. (2022). Chlorination of secondary treated wastewater with sodium hypochlorite (NaOCl): An effective single alternate to other disinfectants. *Heliyon, 8*(11), Article e11162. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11162

Kim, U. J., Kuga, S., Wada, M., Okano, T., & Kondo, T. (2000). Periodate oxidation of crystalline cellulose. *Biomacromolecules, 1*(3), 488–492. https://doi.org/10.1021/bm0000337

Kumar, S., Maisa, M., Elias, V., Kaisa, V., Koivula, A., Linder, M. B., Arola, S., & Sammalkorpi, M. (2021). Effect of oxidation on cellulose and water structure: A molecular dynamics simulation study. *Cellulose, 28*(7), 3917–3933. https://doi.org/10.1007/s10570-021-03751-8

Liimatainen, H., Sirviö, J., Pajari, H., Hormi, O., & Niinimäki, J. (2013). Regeneration and recycling of aqueous periodate solution in dialdehyde cellulose production. *Journal of Wood Chemistry and Technology, 33*(4), 258–266. https://doi.org/10.1080/02773813.2013.783076

Madhushree, M., Vairavel, P., Mahesha, G. T., & Bhat, K. S. (2025). Oxidative modifications of cellulose: Methods, mechanisms, and emerging applications. *Journal of Natural Fibers, 22*(1), 1–22. https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2497910

Makhado, E., Seleka, W. M., Mahlaule, L., Selowa, K., Abu, M. H., Botlhoko, O. J., Satekge, T. K., & Hato, M. J. (2025). Comparative extraction and characterisation of cellulose nanostructures from sawdust and maize stalk biomass. *International Journal of Biological Macromolecules, 329*(P1), Article 147842. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147842

Marinho, E. (2025). Cellulose: A comprehensive review of its properties and applications. *Sustainable Chemistry for the Environment, 11*, Article 100283. https://doi.org/10.1016/j.scenv.2025.100283

Matsuki, S., Kayano, H., Takada, J., Kono, H., Fujisawa, S., Saito, T., & Isogai, A. (2020). Nanocellulose production via one-pot formation of C2 and C3 carboxylate groups using highly concentrated NaClO aqueous solution. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 8*(48), 17800–17806. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c06515

Missoum, K., Belgacem, M. N., & Bras, J. (2013). Nanofibrillated cellulose surface modification: A review. *Materials, 6*(5), 1745–1766. https://doi.org/10.3390/ma6051745

Mulyadi, I. (2019). Isolasi dan Karakterisasi Selulosa: Review. *Jurnal Saintika Unpam: Jurnal Sains dan Matematika Unpam, 1*(2), 177. https://doi.org/10.32493/jsmu.v1i2.2381

Oktavia, B., Sari, M. P., Sary, R. C., Lisa, M., Nasra, E., Zainul, R., & Efendi, J. (2019). Optimization and analysis of some oxinate metal complex system as introduction test for HPLC analysis. *Journal of Physics: Conference Series, 1317*(1), Article 012024. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012024

Riyanto, C. A., Ariesto, Y., Christyawardana, F. T. A., Pradana, Y. K. S., Puspita, N. V. W., Sari, I. P., Yonggulemba, J. D. M., Tumbelaka, M. E., Hutagalung, S., Hanief, F., & Rustyawan, W. (2025). Preparasi Karbon Aktif Sekam Padi dan Serbuk Gergaji Kayu Jati melalui Proses Refluks sebagai Adsorben Larutan Multi Ion Fe(II)/Cu(II). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, 21*(1), 104–120. https://doi.org/10.20961/alchemy.21.1.92401.104-120

Saito, T., Hirota, M., Tamura, N., & Isogai, A. (2010). Oxidation of bleached wood pulp by TEMPO/NaClO/NaClO2 system: Effect of the oxidation conditions on carboxylate content and degree of polymerization. *Journal of Wood Science, 56*(3), 227–232. https://doi.org/10.1007/s10086-009-1092-7

Scott, I. U., Green, W. R., Goyal, A. K., de la Cruz, Z., Naidu, S., & Moser, H. (1993). New sites of ocular involvement in late-infantile metachromatic leukodystrophy revealed by histopathologic studies. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 231*(3), 187–191. https://doi.org/10.1007/BF00920946

Sharma, K., Choudhary, P., Majeed, A., Guleria, S., & Kumar, M. (2025). Cellulose-based membranes, hydrogels and aerogels for water treatment application. *Industrial Crops and Products, 225*, Article 120474. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120474

Simon, J., Fliri, L., Drexler, F., Bacher, M., Sapkota, J., Ristolainen, M., Hummel, M., Potthast, A., & Rosenau, T. (2023). Debugging periodate oxidation of cellulose: Why following the common protocol of quenching excess periodate with glycol is a bad idea. *Carbohydrate Polymers, 310*, Article 120691. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120691

Simon, J., Fliri, L., Sapkota, J., Ristolainen, M., Miller, S. A., Hummel, M., Rosenau, T., & Potthast, A. (2023). Reductive amination of dialdehyde cellulose: Access to renewable thermoplastics. *Biomacromolecules, 24*(1), 166–177. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.2c01022

Souhoka, F. A., & Latupeirissa, J. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Asetat (CA). *Indonesian Journal of Chemical Research, 5*(2), 58–62. https://doi.org/10.30598/ijcr.2018.5-fen

Su, W., Yang, Y., Dai, H., & Jiang, L. (2015). Biosorption of heavy metal ions from aqueous solution on Chinese fir bark modified by sodium hypochlorite. *BioResources, 10*(4), 6993–7008. https://doi.org/10.15376/biores.10.4.6993-7008

Sudalai, A., Khenkin, A., & Neumann, R. (2015). Sodium periodate mediated oxidative transformations in organic synthesis. *Organic & Biomolecular Chemistry, 13*(15), 4374–4394. https://doi.org/10.1039/c5ob00238a

Sun, X., & Jiang, F. (2024). Periodate oxidation-mediated nanocelluloses: Preparation, functionalization, structural design, and applications. *Carbohydrate Polymers, 341*, Article 122305. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122305

Varala, R., Dubasi, N., Seema, V., & Kotra, V. (2023). Sodium periodate (NaIO4) in organic synthesis. *SynOpen, 7*(4), 548–554. https://doi.org/10.1055/a-2183-3678

Xing, W., Wang, Z., Zhang, K., Xu, Y., Pan, Y., & Zhang, G. (2025). Flame-retardant and antibacterial multifunctional cellulose fibers with carbamate esterification and phosphorylation modification. *Industrial Crops and Products, 233*, Article 121482. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121482