

POTENSI KITOSAN DARI CANGKANG INTERNAL CUMI SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DI PERAIRAN SUNGAI TALLO SULAWESI SELATAN

A. Ainur Fadilla, Sitti Nurrahmi, Sefrilita Risqi Adikaning Rani*

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Kampus 2 UIN Jl. H.M. Yasin Limpo No. 36 Samata, Kab Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia

*email: sefrilita.rani@uin-alauddin.ac.id

ABSTRAK

*Pencemaran logam berat di lingkungan perairan menjadi salah satu masalah serius yang mengancam kesehatan ekosistem dan manusia. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi pencemaran ini, salah satunya menggunakan material alami seperti kitosan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi kitosan yang dihasilkan dari cangkang internal cumi (*Loligo sp.*) sebagai adsorben logam berat dalam sistem adsorpsi. Kitosan merupakan biopolimer yang dikenal memiliki kemampuan tinggi dalam mengikat ion logam melalui gugus amino dan hidroksilnya. Dalam penelitian ini, kitosan disintesis melalui beberapa proses yaitu Deproteinasi, dimeneralisasi dan deasetilasi kitin yang diekstraksi dari cangkang internal cumi. Kitosan yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan spektroskopi inframerah (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus yang terbentuk dari proses deasetilasi kitin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan berbasis cangkang internal cumi memiliki kapasitas adsorpsi yang memenuhi standar Kadar air sebesar 2%, Kadar abu sebesar 1% dan Derajat Deasetil (DD) sebesar 82,8%. Berdasarkan karakterisasi gugus fungsi menggunakan FTIR didapatkan gugus hidroksil -OH dan gugus amina (-NH₂) yang berperan signifikan dalam proses adsorpsi logam berat. Karena gugus-gugus tersebut mampu berikatan kompleks dengan ion logam berat. Aplikasi dalam penyerapan Logam Pb pada sampel perairan sungai Tallo di Sulawesi selatan diperoleh efektifitas adsorpsinya sebesar 96,4%. Secara keseluruhan, kitosan dari cangkang internal cumi memiliki potensi sebagai adsorben logam berat dalam aplikasi adsorpsi air. Penelitian ini membuka peluang baru dalam pengembangan material alami untuk teknologi pengolahan air yang berkelanjutan.*

Kata Kunci: *Adsorpsi logam berat; Cangkang internal cumi; Derajat deasetilasi; FTIR; Kitosan; Material ramah lingkungan*

ABSTRACT

[Title: Potential of Chitosan from Squid Internal Shells as Adsorbent of Heavy Metal Pb in Tallo River Waters, South Sulawesi] *Heavy metal pollution in aquatic environments is one of the serious problems that threaten the health of ecosystems and humans. Various methods have been developed to overcome this pollution, one of which is using natural materials such as chitosan. This study aims to explore the potential of chitosan produced from squid (*Loligo sp.*) internal shells as heavy metal adsorbents in filtration systems. Chitosan is a biopolymer known to have a high ability to bind metal ions through its amino and hydroxyl groups. In this study, chitosan was synthesized through several processes, namely Deproteinization, mineralization and deacetylation of chitin extracted from squid internal shells. The resulting chitosan was characterized using infrared spectroscopy (FTIR) to identify groups formed from the chitin deacetylation process. The results showed that chitosan based on squid internal shells has an adsorption capacity that meets the standard water content of 2%, ash content of 1% and Deacetyl Degree (DD) of 82.8%. Based on the characterization of functional groups using FTIR, the hydroxyl group -OH and the amine group (-NH₂) play a significant role in the heavy metal adsorption process. Because these groups are able to form complex bonds with heavy metal ions. Application in the absorption of Pb metal in water samples of the Tallo River in South Sulawesi, obtained an adsorption effectiveness of 96.4%. Overall, chitosan from squid internal shells has the potential as a heavy metal adsorbent in water filtration applications. This study opens up new opportunities in the development of natural materials for sustainable water treatment technology.*

Keywords: *Heavy metal adsorption; Squid internal shell; Deacetylation degree; FTIR; Chitosan; environmentally friendly materials.*

PENDAHULUAN

Pencemaran air akibat keberadaan logam berat seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) merupakan masalah lingkungan yang serius dan berdampak luas terhadap kesehatan manusia serta ekosistem. Logam-logam berat ini bersifat toksik, tidak dapat terurai secara biologis, dan cenderung terakumulasi dalam organisme. Sehingga mengakibatkan efek bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan. Oleh karena itu, diperlukan solusi efektif untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam lingkungan perairan. Salah satu pendekatan yang banyak dikaji dalam menangani pencemaran logam berat adalah penggunaan material adsorpsi yang ramah lingkungan dan efektif (Taftazani, 2020). Kitosan, yang merupakan derivatif kitin yang banyak terdapat pada eksoskeleton hewan laut, telah dikenal memiliki potensi besar sebagai biosorben alami. Kitin banyak terdapat dalam limbah perikanan seperti cangkang udang, kepiting, dan termasuk cangkang internal cumi (pen atau gladius cumi) (Rochmawati, dkk., 2018). Cangkang internal cumi merupakan sumber kitin yang melimpah, namun sering kali terbuang sebagai limbah, sehingga pemanfaatannya dapat menjadi solusi bagi pengelolaan limbah perikanan sekaligus membantu pengolahan air tercemar.

Kitosan memiliki struktur yang kaya gugus amina (-NH₂) dan gugus hidroksil (-OH) yang dapat berinteraksi dengan ion-ion logam berat melalui mekanisme pertukaran ion atau pembentukan kompleks, sehingga efektif digunakan sebagai biosorben. Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa kitosan mampu mengadsorpsi berbagai jenis logam berat, seperti tembaga (Cu), nikel (Ni), dan kromium (Cr) dari larutan berair (Ngah et al., 2011). Penelitian oleh Zhang dkk (2016) menyatakan bahwa kitosan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap logam berat karena keberadaan gugus fungsional itu (Zhang et al., 2016). Penelitian oleh Seenuvasan dkk (2018) menyatakan bahwa kitosan yang berasal dari berbagai sumber limbah laut dapat dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensinya, baik melalui perubahan derajat deasetilasi atau dengan penggabungan komponen tambahan seperti karbon aktif atau magnetit (Seenuvasan et al., 2018). Penelitian terkait kitosan yang dilakukan oleh Rahmaniah dkk 2024 yaitu membuat kitosan dengan bahan dasar cangkang landak laut didapatkan derajat deasetilasinya sebesar 88% sudah sesuai dengan standar SNI, Jepang dan Korea (Rahmaniah et al., 2024). Beberapa standar yang bisa menjadi acuan

terhadap kualitas kitosan biasa dilihat dari Kadar air, Kadar abu dan Derajat Deasetilasinya. Menurut Surat Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional tentang Penetapan SNI 7949:2022 Kitosan - Syarat Mutu dan Pengolahan, syarat karakteristik kitosan untuk penelitian tidak lebih dari 12%. Selain itu, Standar Nasional Indonesia menetapkan Kadar abu kitosan tidak lebih dari 5%. Selain itu, nilai derajat deasetilasi harus memenuhi persyaratan SNI 2013 untuk memenuhi karakteristik kitosan sebesar minimal 75% (SNI, 2013). Penentuan nilai Kadar air sampel kitosan dapat ditentukan dengan persamaan (1) berikut:

$$\%Kadar\ air = \frac{m_b - m_k}{m_b} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana m_b adalah massa basah (gr) dan m_k adalah massa kering (gr). Kadar abu pada kitosan menunjukkan jumlah bahan kimia anorganik yang dikandung dalam sampel dan tingkat kemurniannya. Tingkat kemurnian kitosan meningkat dengan menurunnya konsentrasi abu. Untuk menentukan nilai Kadar abu dari kitosan dilakukan dengan menghtung massa residu dan massa sampel dan kemudian dimasukkan pada persamaan (2) :

$$\%Kadar\ Abu = \frac{m_r}{m_s} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan m_r adalah massa residu (gr) dan m_s adalah massa sampel (gr) (Rochmawati, dkk., 2018).

Kualitas kitosan yang selanjutnya meliputi nilai derajat deasetilasinya. Persentase gugus asetil yang tidak ada dalam kitosan ditunjukkan oleh tingkat deasetilasi, yang juga menentukan kualitas kitosan. Pendekatan garis Moore dan Robert (metode *baseline*) digunakan untuk mengukur tingkat deasetilasi dengan memanfaatkan data gugus fungsi yang ada dalam spectrum pada pengujian FTIR.

$$\%DD = \left[100 - \left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{100}{1,33} \right) \right] \quad (3)$$

Dengan nilai A adalah besarnya $\text{Log} \left(\frac{p_o}{p} \right)$, P_o (%) adalah prosentase transmitten pada garis datar, P (%) adalah prosentase transmitten pada puncak minimum, A_{1655} merupakan pita serapan gugus amida, dan A_{3450} merupakan pita serapan gugus hidroksil (OH).

Mengenai potensi kitosan dari cangkang internal cumi sebagai adsorben logam berat masih perlu dieksplorasi. Mengingat melimpahnya limbah internal cumi-cumi di perairan di Indonesia. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa kitosan merupakan material yang efektif untuk pengolahan air yang terkontaminasi logam berat. Sebagai contoh, penelitian oleh Lestari dkk (2024)

mengeksplorasi kemampuan kitosan dalam mengadsorpsi berbagai logam berat, seperti Pb, Fe dan Cu, dari larutan air dan menemukan bahwa efisiensi adsorpsi kitosan dapat dioptimalkan dengan modifikasi kimiawi (Lestari et al., 2024). Demikian pula, oleh Kou dkk (2021) mereview berbagai material biosorben alami, termasuk kitosan, dan menemukan bahwa kitosan menunjukkan potensi besar sebagai adsorben yang ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair (Kou et al., 2021). Kitosan banyak terdapat pada limbah cangkang hewan laut atau pada bagian tubuh krustasea (Zhao et al., 2022) seperti cangkang rajungan (Supriyanti et al., 2018), cangkang kulit udang (Azizati, 2019) dan cangkang landak laut (Rahmaniah et al., 2024). Banyaknya kandidat material yang dapat dieksplorasi menjadi bahan pembuat kitosan yang berasal dari golongan crustase. Melimpahnya limbah seperti cangkang internal cumi di Indonesia dengan kandungan kitin didalamnya maka bisa berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan kitosan juga. Sehubungan dengan melimpahnya limbah cangkang internal cumi dan berbagai literatur. Kajian dalam penelitian ini dibahas potensi kitosan dari cangkang internal cumi sebagai bioadsorben logam berat Pb. Novelty pada penelitian ini yaitu mensintesis kitosan yang berasal dari limbah cangkang internal cumi yang kemudian diaplikasikan untuk penyerapan logam berat Pb yang terdapat pada perairan sungai Tallo Sulawesi selatan. Hal yang dikaji dari penelitian ini meliputi beberapa kualitas kitosan hasil sintesis meliputi derajat deasetilasi dari karakterisasi menggunakan instrument FTIR, kualitas Kadar air, Kadar abu dan efektifitasnya dalam adsorpsi logam berat ditinjau dari karakteristik menggunakan AAS (*Atomic Adsorption Spectra*).

METODE

Metode sintesis kitosan dari cangkang internal cumi-cumi yang diambil dari limbah rumah makan seafood di Kota Makassar. Proses dimulai dengan pengambilan cangkang internal cumi-cumi. Cangkang dicuci, dikeringkan di bawah sinar matahari, lalu dioven pada suhu 100°C selama 10 menit, dihaluskan dengan grinder, dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Sintesis Kitosan dilakukan melalui tiga tahap utama: **Deproteinasi**: Cangkang yang telah dihaluskan dicampur dengan larutan NaOH 1M dengan perbandingan 1:6 (b/v). Campuran dipanaskan pada suhu 70–80°C dengan pengadukan 500 rpm selama 2 jam. Endapan yang dihasilkan disaring, dicuci hingga pH netral, dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 jam, diulangi enam kali. **Demineralisasi**: Setelah deproteinasi, cangkang dicampur dengan larutan HCl 1,5M dalam

perbandingan 1:4 (b/v), dipanaskan pada suhu 70–80°C selama 1 jam. Endapan disaring, dicuci hingga pH netral, lalu dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 jam dan diulangi enam kali. **Deasetilasi**: Kitin yang dihasilkan dari demineralisasi kemudian dicampur dengan larutan NaOH 1,15M dengan perbandingan 1:10 (b/v) dan dipanaskan pada suhu 70–80°C selama 1,5 jam. Campuran disaring, dicuci hingga pH netral, dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 jam, diulangi enam kali. Karakterisasi Kitosan dilakukan melalui beberapa pengujian seperti pengujian Kadar air, Kadar abu, dan derajat deasetilnya. Metode ini bertujuan untuk mengetahui kualitas kitosan dari cangkang cumi-cumi yang dapat digunakan sebagai kandidat material adsorben logam berat seperti Pb dalam sistem adsorpsi air yang tercemar yang berada perairan sungai Tallo Sulawesi Selatan. Pengujian untuk mengetahui derajat deasetilasi dilakukan dengan menggunakan instrument FTIR. Data yang diperoleh dari FTIR kemudian dianalisis menggunakan metode metode Baseline (Rani et al., 2025) yang kemudian dihitung dengan persamaan (3). Sedangkan untuk mengetahui seberapa efektif kitosan ini bekerja dalam proses adsorpsi logam berat Pb digunakan Instrumen AAS (*Atomic Adsorption Spectra*). Sampel yang digunakan berupa serbuk kitosan yang dicampurkan dengan air dari sampel perairan sungai Tallo Sulawesi Selatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berfokus pada sintesis dan karakterisasi kitosan yang dihasilkan dari cangkang cumi-cumi sebagai penyerap logam berat, khususnya timbal (Pb), dalam sistem adsorpsi air yang tercemar. Cangkang cumi-cumi merupakan limbah yang melimpah dan potensial sebagai sumber kitin, yang kemudian dapat diubah menjadi kitosan melalui tahapan deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Pada tahapan deproteinasi, proses pemanasan dalam larutan NaOH bertujuan untuk menghilangkan protein yang terdapat pada cangkang cumi. Pemilihan konsentrasi NaOH (1M) dan suhu 70° - 80°C dengan pengadukan 500 rpm selama 2 jam efektif mengurangi kandungan protein. Hasil adsorpsi yang diulang beberapa kali dengan pemanasan lebih lanjut memastikan penghilangan komponen organik yang tidak diinginkan. Tahap kedua pembuatannya yaitu proses demineralisasi menggunakan HCl 1,5M untuk menghilangkan mineral, terutama kalsium karbonat (CaCO₃). Langkah ini penting karena kitin yang dimurnikan dari mineral dapat mempengaruhi efisiensi konversi menjadi kitosan dalam tahap deasetilasi. Penggunaan HCl dengan konsentrasi rendah memastikan proses yang efisien tanpa merusak struktur kitin. Tahapan

terakhir pembuatan kitosan yaitu Deasetilasi bertujuan untuk mengonversi kitin menjadi kitosan dengan melepas gugus asetil melalui pemanasan dalam larutan NaOH 1,15M. Suhu 70-80°C dipilih untuk mencegah degradasi kitin, sementara penggunaan larutan basa membantu mempercepat reaksi pelepasan gugus asetil, sehingga menghasilkan kitosan yang berkualitas.

Tabel 1. Karakteristik kualitas kitosan

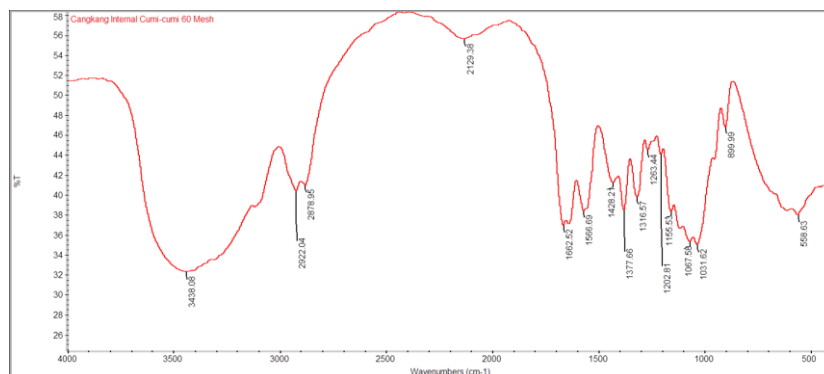
<i>Indikator</i>	<i>Nilai (%)</i>	<i>Standar SNI (%) (SNI, 2013)</i>
Kadar air	2	≤5
Kadar abu	1	≤10
Derajat desetilasi	82,8	≥75

Karakterisasi kitosan pada tabel 1 dilakukan untuk memastikan kualitas produk yang dihasilkan, meliputi pengukuran nilai Kadar air, Kadar abu, dan derajat deasetilasi. Berdasarkan hasil (tabel 1) penelitian diperoleh nilai Kadar air sebesar 2% , Kadar abu sebesar 1% dan Derajat deasetilnya sebesar 82,8% Kalau dilihat dari nilai pengukuran yang telah dilakukan maka untuk kualitas kitosannya sudah memenuhi standar SNI(SNI, 2013).Kadar air yang rendah menunjukkan kitosan memiliki stabilitas yang baik untuk digunakan dalam aplikasi adsorpsi. Sementara Kadar abu yang rendah mencerminkan rendahnya kontaminasi anorganik (Rochmawati, dkk., 2018). Kelarutan kitosan dalam asam asetat menunjukkan tingkat kemurnian kitosan. Hal yang penting jika material ini diaplikasikan sebagai adsorben. Derajat deasetilasi yang tinggi menunjukkan keberhasilan proses deasetilasi dalam menghasilkan kitosan dari kitin.

Berdasarkan karakterisasi menggunakan FTIR seperti pada data gambar 1 menunjukkan adanya beberapa gugus serapan yang dihasilkan. Pada puncak yang diamati pada rentang 3200–3500 cm⁻¹

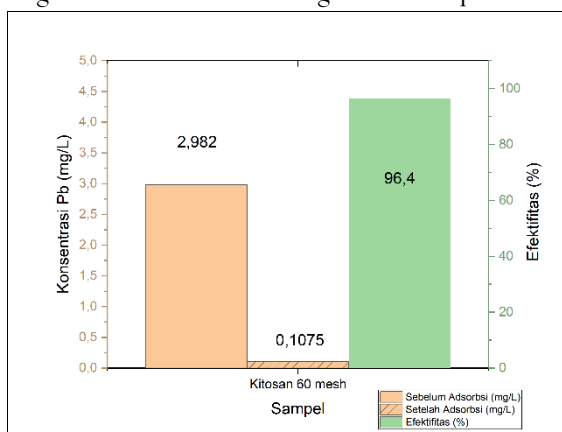
menunjukkan adanya gugus hidroksil (–OH) dan amina (–NH₂). Gugus fungsional ini berkontribusi pada sifat hidrofilik dan bertanggung jawab untuk membentuk ikatan hidrogen serta berikatan dengan ion logam. Puncak peregangan Amida dan Karbonil (C=O) yaitu puncak sekitar 1600–1650 cm⁻¹ umumnya terkait dengan getaran peregangan C=O pada gugus amida. Hal ini penting pada kitosan karena menunjukkan adanya gugus asetil yang sedikit dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi melalui interaksi dengan ion logam. Selanjutnya puncak peregangan C–O pada Rangka Polisakarida terdapat pada puncak rentang 1000–1100 cm⁻¹ menunjukkan getaran peregangan C–O, yang merupakan karakteristik dari rangka polisakarida pada kitosan. Getaran ini mengindikasikan hubungan antara struktural dan stabilitas polimer kitosan. Apabila kita kaitkan dengan efektivitas kitosan dalam adsorpsi logam berat sangat dipengaruhi oleh ketersediaan gugus –NH₂. Hal ini relevan dengan review yang diungkapkan dalam penelitian Zhang dkk 2016. (Zhang et al., 2016). Gugus ini berfungsi sebagai gugus aktif untuk pembentukan ikatan dan pertukaran ion, yang dapat mengikat logam berat seperti timbal, kadmium, atau tembaga. Selain itu, gugus hidroksil (OH) juga dapat berperan dalam pengikatan melalui interaksi ikatan hydrogen (Rahmaniah et al., 2024). Pada sampel ini, puncak yang teridentifikasi menunjukkan bahwa kitosan yang berasal dari cangkang internal cumi-cumi memiliki gugus aktif yang mempunyai peran dalam proses adsorpsi. Sehingga hal ini dapat menunjukkan potensi kitosan dari cangkang internal cumi-cumi dapat digunakan sebagai kandidat material adsorpsi logam berat yang efektif. Intensitas dan ketajaman puncak dalam spektrum FTIR (gambar 1) mencerminkan kemurnian dan tingkat deasetilasi kitosan, yang sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi adsorpsinya.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kitosan yang dihasilkan memiliki potensi besar sebagai penyerap logam berat, terutama timbal (Pb).



Gambar 1. Hasil karakterisasi FTIR sampel kitosan cangkang internal cumi-cumi

Kitosan, dengan sifatnya yang biokompatibel dan ramah lingkungan, menawarkan solusi alternatif dalam teknologi penyaringan air yang tercemar. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan kitosan sebagai adsorben logam berat seperti yang dilakukan oleh Rahmania et al. (2024), yang menunjukkan kemampuan kitosan dalam menyerap ion logam di lingkungan air yang tercemar (Rahmania et al., 2024). Untuk membuktikan bahwa kitosan ini dapat diaplikasikan untuk adsorpsi logam berat maka sampel kitosan serbuk hasil sintesis di campurkan dengan sampel air sungai yang tercemar yakni pada daerah Sungai Tallo Sulawesi Selatan. Sampel air yang diperoleh dari sungai diuji kandungan Pb awalnya sebesar 2,982 mg/L dengan menggunakan instrument AAS. Kemudian sampel serbuk kitosan dicampurkan dengan air tersebut kemudian di uji kembali. Hasil pengujian dengan instrument AAS menunjukkan adanya penurunan konsentrasi logam berat Pb setelah kitosan ditambahkan. Terlihat pada pengujian diperoleh efektifitas 96,4% dalam mengurangi logam berat perairan. Apabila dikaitkan dengan gugus yang dihasilkan pada proses sintesis kitosan, gugus amina ($-NH_2$) pada kitosan berperan sebagai donor pasangan elektron bebas yang dapat membentuk ikatan koordinasi dengan ion logam berat seperti Pb^{2+} ini merupakan mekanisme utama adsorpsi kimia. Menurut penelitian Munirah dkk. (2024) dalam lingkungan perairan, kitosan dapat mengalami protonasi ($-NH_3^+$), dan ion logam berat dapat menggantikan ion H^+ pada gugus amina melalui mekanisme pertukaran ion. (Munirah Muhaidin et al., 2024). Itulah sebabnya kitosan sangat efektif dalam adsorpsi logam berat perairan.



Gambar 2. Hasil karakterisasi AAS sampel serbuk kitosan cangkang internal cumi-cumi yang di aplikasikan pada sampel air sungai

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan kandidat material

berbasis biopolimer untuk aplikasi lingkungan yang lebih berkelanjutan terutama pada system adsorpsi air tercemar. Keberlanjutan penelitian ini bisa di proyeksikan pada adsorpsi logam berat yang lain dengan mengambil sampel air yang mengandung logam berat kemudian dicampurkan dengan material ini. Selanjutnya dikarakterisasi besarnya serapan logam berat secara kuantitatif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, kitosan yang dihasilkan dari cangkang internal cumi-cumi terbukti memiliki potensi yang baik sebagai adsorben logam berat dalam aplikasi adsorpsi air. Proses sintesis kitosan dilakukan melalui tahapan deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Kualitas kitosan yang diperoleh dari penelitian meliputi Kadar air, Kadar abu, dan derajat deasetilasi (DD) sesuai standar SNI. Karakterisasi menggunakan FTIR mengidentifikasi adanya gugus hidroksil ($-OH$) dan gugus amina ($-NH_2$), yang berperan penting dalam proses adsorpsi logam berat. Gugus-gugus ini mampu membentuk ikatan kompleks dengan ion logam berat, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi kitosan. Diharapkan efektivitas sebesar 96,4% ketika kitosan diaplikasikan sebagai adsorben logam Pb di perairan Sungai Tallo Sulawesi Selatan. Dengan kemampuan ini, kitosan dari cangkang internal cumi dapat sebagai solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk penanganan pencemaran logam berat di lingkungan perairan. Hasil dari penelitian ini membuka peluang baru dalam pengembangan material alami untuk teknologi pengolahan air yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizati, Z. (2019). Pembuatan dan karakterisasi kitosan kulit udang galah. *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(1), 10–16.
- Kou, S. G., Peters, L. M., & Mucalo, M. R. (2021). Chitosan: A review of sources and preparation methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 85–94.
- Lestari, D. W., Rodiah, S., & Asnari, M. (2024). Pemanfaatan Kitosan Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), Dan Timbal (Pb). *PHENOMENON: Multidisciplinary Journal Of Sciences and Research*, 2(01), Article 01. <https://doi.org/10.62668/phenomenon.v2i01.1120>

- Munirah Muhaidin, Fatin Hana Naning, Juniza Md Saad, Rafeah Wahid, & Tasiu Zangina. (2024). Heavy Metal Ion Adsorbent in Aqueous Solution: A Review on Chitosan and Chitosan Composites. *Journal of Advanced Research in Micro and Nano Engineering*, 18(1), 78–102. <https://doi.org/10.37934/armne.18.1.78>
- Ngah, W. W., Teong, L. C., & Hanafiah, M. M. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83(4), 1446–1456.
- Rahmaniah, R., Isdar, E., & Rani, S. R. A. R. (2024). Sintesis dan karakterisasi kitosan berbasis cangkang landak laut sebagai kandidat adsorben logam berat. *JOURNAL ONLINE OF PHYSICS*, 9(2), 30–36.
- Rani, S. R. A. R., Ihsan, I., Asriani, A., & Riski, E. (2025). Eksplorasi limbah tulang ikan sunu sebagai sumber biomaterial kitosan: proses ekstraksi dan karakteristiknya. *JOURNAL ONLINE OF PHYSICS*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.22437/jop.v10i2.41609>
- Rochmawati, Z. N., Nabila, F., & Ainurrohmah, C. (2018). Karakterisasi Kitosan Yang Diisolasi Dari Cangkang Internal Cumi-Cumi. *Saintekno: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.15294/saintekno.v16i1.15048>
- Seenuvasan, M., Suganthi, J. R. G., Sarojini, G., Malar, G. C. G., Priya, M. E., & Kumar, M. A. (2018). Effective utilization of crustacean shells for preparing chitosan composite beads: Applications in ameliorating the biosorption of an endocrine disrupting heavy metal. *Desalination and Water Treatment*, 121, 28–35.
- SNI, B. S. (2013). *Kitosan Syarat Mutu dan Pengolahan SNI 7949: 2013*. BSN. Jakarta, 8.
- Supriyantini, E., Yulianto, B., Ridlo, A., Sedjati, S., & Nainggolan, A. C. (2018). Pemanfaatan kitosan dari limbah cangkang rajungan (*Portunus pelagicus*) sebagai adsorben logam timbal (Pb). *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(1), 23–28.
- Taftazani, A. (2020). *Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Bambu Termodifikasi Oksida Besi dan Surfaktan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/29375>
- Zhang, L., Zeng, Y., & Cheng, Z. (2016). Removal of heavy metal ions using chitosan and modified chitosan: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 214, 175–191.
- Zhao, X., Liu, Y., & Zhang, T. (2022). Review on preparation and adsorption properties of chitosan and chitosan composites. *Polymer Bulletin*, 79. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03626-9>