

## Ekstraksi Kitosan dari Limbah Cangkang Udang sebagai Adsorben Ion Logam Cu pada Air Pasca Tambang Timah

### *(Extraction of Chitosan from Shrimp Shells Waste as Cu Metal Ions Adsorbent in Post Tin Mining's Water)*

Herman Aldila<sup>1\*</sup>, Desy Yuliana Dalimunthe<sup>2</sup>, dan Atin Nuryadin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung

<sup>2</sup>Jurusan Matematika, Universitas Bangka Belitung

<sup>3</sup>Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Mulawarman

\* Korespondensi E-mail: [hermanaldilaubb@gmail.com](mailto:hermanaldilaubb@gmail.com)

#### Abstrak

Pengaruh konsentrasi NaOH pada proses deasetilasi kitin terhadap mekanisme adsorpsi logam tembaga oleh kitosan pada air bekas lahan galian tambang timah Pulau Bangka telah berhasil dianalisis. Ekstraksi kitosan dilakukan melalui empat tahap yaitu deproteinisasi, demineralisasi, dekolorisasi dan deasetilasi menggunakan bahan baku limbah industri udang ebi. Peningkatan konsentrasi NaOH pada proses deasetilasi kitin mengakibatkan nilai derajat deasetilasi kitosan meningkat. Peningkatan nilai derajat deasetilasi kitosan mengindikasikan bahwa jumlah gugus amina dan gugus hidroksil pada struktur molekul kitosan meningkat sehingga menyebabkan peningkatan daya adsorpsi kitosan. Hal ini terkonfirmasi oleh spektrum FTIR, dimana terjadi pembentukan pola serapan pada daerah 1655 dan 3450  $\text{cm}^{-1}$  dan menurunnya intensitas serapan pada daerah 3260 dan 3107  $\text{cm}^{-1}$ . Data *Atomic Absorption Spectroscopy* menunjukkan bahwa kadar logam tembaga terlarut dalam air sampel sebesar 0,32 ppm dan setelah direaksikan dengan kitosan menurun secara signifikan berkisar antara 0,035 hingga 0,009 ppm. Mekanisme adsorpsi kitosan pada logam tembaga terlarut dideskripsikan melalui reaksi pembentukan kelat dan reaksi asam-basa Lewis. Kitosan hasil ekstraksi mampu menurunkan kadar logam tembaga terlarut dalam air sampel hingga mencapai 97,19%.

**Kata kunci:** Kitosan, adsorben, ion logam Cu, air pasca tambang timah.

#### Abstract

*The effect of NaOH concentration on chitin deacetylation and the adsorption mechanism of copper metal ions by chitosan in post tin mining water from Bangka Island has been successfully analyzed. Extraction of chitosan followed in four steps: deproteinization, demineralization, decolorization, and deacetylation using dried shrimp industry waste as raw materials. The increase of NaOH concentration in the deacetylation process causes the chitosan deacetylation degree (DD) increases. The increment of chitosan DD indicates that the amine groups and hydroxyl groups of chitosan increases. This is confirmed by FTIR spectrum, where the formation of absorption band at 1655 and 3450  $\text{cm}^{-1}$  and reduction of the band at 3260 and 3107  $\text{cm}^{-1}$ . The Atomic Absorption Spectroscopy data showed that the dissolved copper metal content in the water was 0.32 ppm and after treatment, it decreased significantly from 0.035 to 0.009 ppm. The adsorption mechanism of chitosan on copper metal ions is described through the chelating reaction and Lewis acid-base reactions. The extracted chitosan has been successfully reduced copper metal content in the water and the highest reached 97.19%.*

**Keywords:** Chitosan, adsorbent, Cu metal ions, post tin mining water.

#### 1. Pendahuluan

Pemberdayaan lahan bekas galian tambang timah merupakan salah satu upaya pemanfaatan lahan pasca era tambang timah darat yang sering dijumpai di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung sebagai kawasan penghasil timah terbesar di Indonesia. Bentuk upaya pemanfaatan tersebut diantaranya sebagai tempat penampungan air baik air tanah maupun air hujan (Meyzilia, 2018), tempat budidaya ikan dan udang air tawar (Triswiyana, 2019), tempat destinasi pariwisata (Dalimunthe, 2020) hingga

kegiatan reklamasi untuk kawasan konservasi dan mencegah penambangan timah ilegal (Sari, 2015). Pemanfaatan lahan bekas galian tambang timah yang sering ditemukan di kawasan Kepulauan Bangka Belitung adalah sebagai tempat penampungan air (Dalimunthe, 2017). Hal ini disebabkan karena kondisi lahan bekas galian yang relatif dalam, diameternya lebar dan dalam jumlah banyak saling terintegrasi dengan kawasan aliran air sungai yang tidak memungkinkan dilakukannya kegiatan reklamasi. Pada musim kemarau, lahan bekas galian yang

terisolir dari kawasan aliran sungai dapat dimanfaatkan sebagai cadangan sumber air yang potensial.

Air yang berasal dari lahan bekas galian tambang timah umumnya masih mengandung logam berat seperti timbal (Pb), seng (Zn) dan tembaga (Cu) yang keberadaannya relatif cukup tinggi (Wahyuni, 2013). Kandungan logam berat ini juga menyebabkan biota air alami maupun budidaya seperti ikan dan udang yang umumnya ditemukan pada wilayah tersebut mengandung logam berat yang telah terakumulasi melalui proses biomagnifikasi sehingga berbahaya untuk dikonsumsi (Prasetyono, 2015a).

Tembaga (Cu) merupakan logam berat esensial yang dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian dan pada konsentrasi sub letal dapat menyebabkan pusing, mual, keram perut dan dampak kronis hingga gangguan ginjal dan liver (Sari, 2017). Secara alami kandungan tembaga pada lahan bekas galian tambang timah akan menurun seiring waktu melalui proses *self-purification*. Akan tetapi proses ini membutuhkan waktu hingga puluhan tahun dan meningkatkan potensi biomagnifikasi pada biota air (Prasetyono, 2015b). Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan upaya remediasi air pada lahan bekas galian tambang timah untuk dapat menurunkan kandungan logam tembaga terlarut.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk menurunkan kadar tembaga terlarut diantaranya dengan menggunakan metode adsorpsi berbasis karbon aktif (Shahraki, 2021); *clay* (Li, 2020); *biochar* (Zhang, 2020); silika (Fang, 2020); kitosan (Sutirman, 2020); nanobentonit termodifikasi nanoselulosa/kitosan (Shahnaz, 2020), *physisorption* (Purwiyanto, 2020), biokoagulasi (Tiandho, 2018), elektrokoagulasi (Kim, 2020), dan sebagainya. Metode adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menurunkan kadar tembaga terlarut dengan memanfaatkan material adsorban yang dapat mengikat logam tembaga terlarut melalui mekanisme pengikatan kation tembaga dengan anion adsorban sehingga kadar tembaga akan menurun.

Kitosan salah satu material adsorban yang telah dikembangkan dan paling banyak dimodifikasi karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya ramah lingkungan (tidak meninggalkan emisi polutan), sumbernya berlimpah (umumnya dari cangkang *crustacea*) dan tidak bersifat racun. Keberadaan gugus hidroksil dan amino sepanjang rantai struktur polisakarida kitosan menyebabkan material ini sangat efektif dalam mengadsorpsi kation logam berat (Agustina, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektifitas penggunaan kitosan hasil ekstraksi dari limbah industri udang

ebi berupa cangkang udang krosok dari spesies *Penaeus semisulcatus* sebagai adsorben logam tembaga pada air di lahan bekas galian tambang timah Pulau Bangka.

## 2. Metode

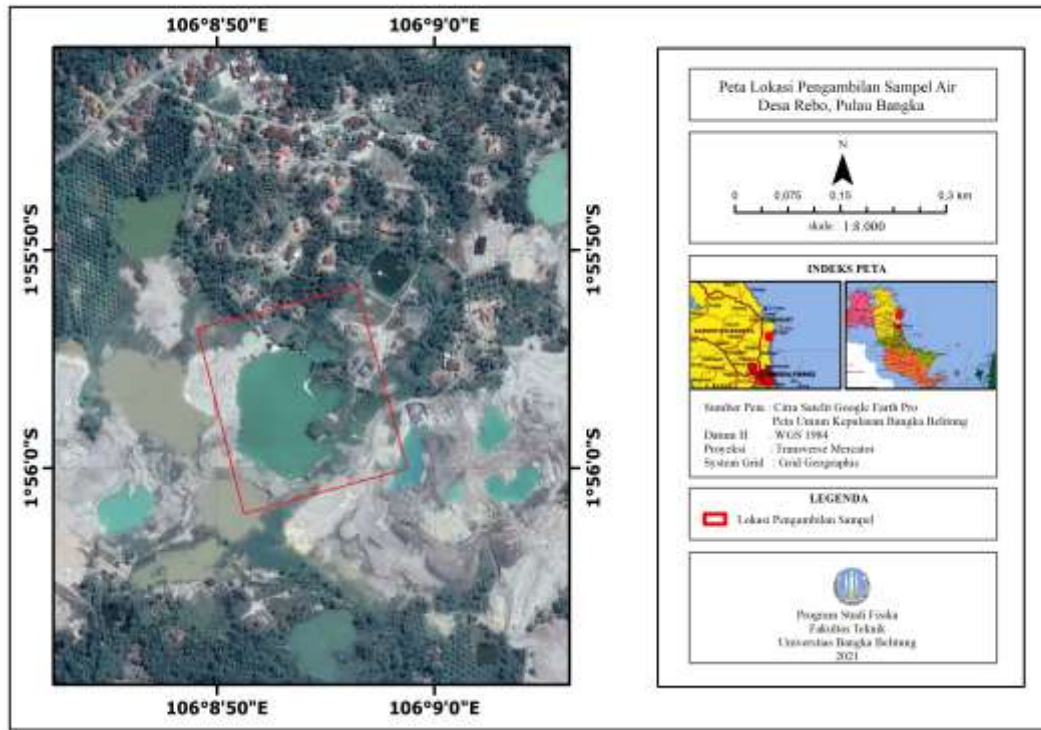
Sintesis diawali dengan melakukan preparasi cangkang udang ebi dengan mencuci limbah udang ebi dengan air panas (kisaran suhu 98°C) hingga bersih lalu dibilas dengan air destilasi kemudian dikeringkan. Cangkang udang kering dihaluskan lalu diayak menggunakan saringan ukuran 100 mesh. Serbuk cangkang udang kemudian direaksikan dengan larutan NaOH 2 M pada suhu 30°C dengan perbandingan 1:6 (b/v) sambil diaduk selama satu jam. Setelah dipisahkan dari larutannya, endapan serbuk udang dicuci dengan air destilasi hingga mencapai pH 7 kemudian dikeringkan. Selanjutnya serbuk direaksikan kembali dengan larutan HCl 1,5 M pada perbandingan 1:12 (b/v) sambil diaduk selama 1 jam pada suhu kamar. Setelah disaring, endapan dicuci dengan air destilasi hingga pH 7 kemudian dikeringkan sehingga diperoleh kitin kering. Kitin yang diperoleh direaksikan dengan NaClO 5% dengan rasio 1:10 (b/v) pada suhu ruang selama 30 menit untuk menghilangkan pigmen *astaxanthin* agar warna kitin menjadi lebih putih. Kitin kemudian direaksikan dengan larutan NaOH menggunakan variasi konsentrasi NaOH: 20%, 40% dan 60% pada rasio 1:20 (b/v) sambil diaduk selama satu jam pada suhu ruang. Endapan dari masing-masing variasi kemudian dipisahkan dengan larutan filtrat lalu dicuci dengan menggunakan air destilasi hingga mencapai pH 7 kemudian dikeringkan sehingga diperoleh kitosan kering. Untuk uji efektifitas adsorpsi kitosan pada logam tembaga yang terlarut pada air bekas galian tambang timah digunakan perbandingan kitosan dengan air sebesar 1:100 (b/v) sambil diaduk lalu selama 30 menit pada suhu ruang. Setelah itu untuk memisahkan kitosan dengan larutan dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring. Larutan hasil proses penyaringan kemudian dilakukan uji *Atomic Absorption Spectroscopy* untuk mengidentifikasi kadar logam tembaga terlarut sebelum dan sesudah perlakuan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Air yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini diambil dari wilayah Desa Rebo, Pulau Bangka. Peta lokasi yang ditunjukkan melalui citra satelit Google Earth Pro menunjukkan bahwa disekitar lokasi pengambilan sampel terdapat gundukan-gundukan pasir dan tanah serta lubang-lubang bekas galian yang terlihat jarang ditumbuhi oleh tanaman seperti yang disajikan dalam Gambar 1.

Hal ini mengindikasikan lokasi pengambilan sampel merupakan lokasi galian bekas tambang timah yang relatif baru yang memungkinkan masih terdapat aktivitas penambangan timah

maupun mineral lainnya. Lokasi pengambilan air pada bekas galian tambang timah ditunjukkan oleh petak berwarna merah.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel air

Kandungan logam berat sampel air dianalisis menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy* model ICE 3000 dengan batas deteksi hingga 0,0001 ppm pada panjang gelombang 248 nm disajikan dalam Tabel 1. Berdasarkan analisa kandungan logam berat yang disajikan dapat diamati bahwa kandungan logam besi dan timbal memiliki kadar yang relatif tinggi dari syarat minimal yang ditetapkan oleh standar baku mutu air pada Peraturan Menteri

Kesehatan Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017 dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001. Untuk kandungan logam besi dan timbal terlarut masing-masing enam (6) dan tujuh (7) kali lipat dari standar baku yang ditetapkan sedangkan kandungan logam tembaga terlarut memiliki nilai paling besar 0,32 ppm setara 16 kali lipat dari standar baku mutu yang ditetapkan.

Tabel 1. Kandungan logam berat pada sampel air

Logam Berat Terlarut	Kadar (ppm)	Standar Baku Mutu (ppm)
Fe (Besi)	6,10	1,00
Zn (Seng)	1,20	15
Pb (Timbal)	0,36	0,05
Cu (Tembaga)	0,32	0,02

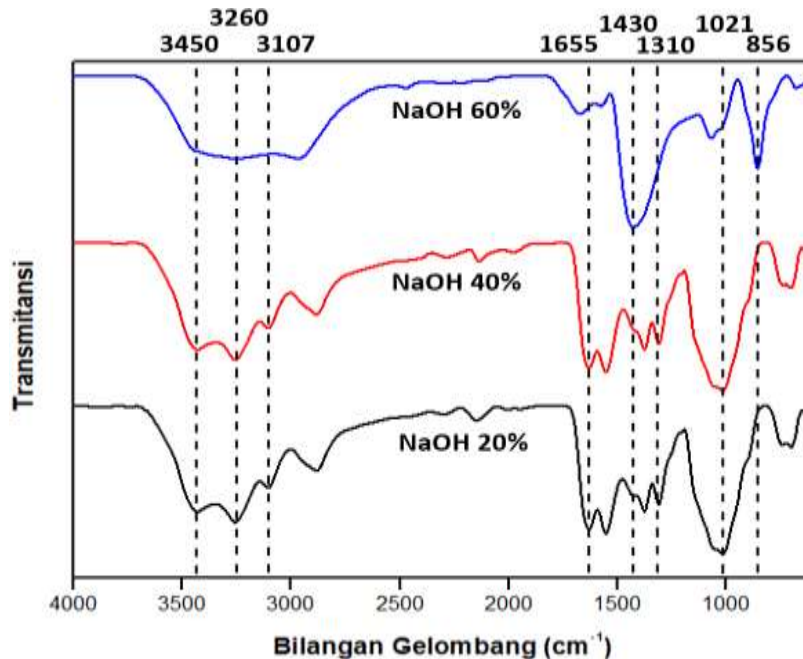
Keterangan: ppm (*part per million*)

Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi kitosan menggunakan instrumen FTIR tipe Thermo Fisher Scientific model Nicolet 8700 pada rentang sidik jari 600  $\text{cm}^{-1}$  hingga 4000  $\text{cm}^{-1}$  yang disajikan pada Gambar 2, diketahui bahwa adanya serapan khas untuk kitosan yang terdapat pada bilangan gelombang 3450  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya vibrasi perenggangan

gugus OH. Menurunnya intensitas serapan pada daerah 3260  $\text{cm}^{-1}$  dan 3107  $\text{cm}^{-1}$  mengindikasikan perenggangan gugus N-H setelah proses deasetilasi (Rashid, 2012). Perenggangan gugus C=O pada pita amida dan vibrasi ikatan gugus CO-NH pada daerah 1655  $\text{cm}^{-1}$  dan 1310  $\text{cm}^{-1}$  mengindikasikan proses deasetilasi pada kitin (Kumari, 2015). Pada konsentrasi NaOH 60%

daerah ini lebih rendah relatif dengan yang lain mengindikasikan bahwa semakin banyak kitin yang terdeasetilasi selama proses reaksi dan menyebabkan nilai derajat deasetilasi akan semakin meningkat (Aldila, 2020). Hal ini juga ditandai dengan terbentuknya daerah serapan pada 1430 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan vibrasi

renggangan dari gugus C-H yang merupakan deformasi dari alkana (Dompeipen, 2017). Sedangkan pada daerah 1021 cm<sup>-1</sup> dan 856 cm<sup>-1</sup> menunjukkan terjadinya vibrasi perenggangan pada pita glikosidik dari struktur polisakarida kitosan (Sivakami, 2013).



Gambar 2. Spektrum FTIR kitosan pada berbagai variasi konsentrasi NaOH

Penentuan nilai derajat deasetilasi kitosan ditentukan dengan menggunakan metode base

line berdasarkan spektrum FTIR (Aldila, 2020), dengan persamaan:

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

Dimana, A<sub>1655</sub> menunjukkan serapan oleh gugus amina, A<sub>3450</sub> menunjukkan serapan oleh gugus hidroksil, dan faktor 1,33 menunjukkan nilai rasio A<sub>1655</sub> / A<sub>3450</sub> untuk deasetilasi kitin

sempurna. Nilai derajat deasetilasi pada masing-masing variasi konsentrasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Derajat deasetilasi kitosan pada berbagai variasi konsentrasi NaOH

Konsentrasi NaOH (%)	Derajat Deasetilasi (%)
20	65.72
40	67.44
60	88.98

Peningkatan konsentrasi larutan NaOH menyebabkan peningkatan nilai derajat deasetilasi kitosan. Kitin secara alami memiliki struktur kompak (padat dan rapat) yang dapat membentuk penghalang sterik (*steric hindrance*) sehingga menghambat proses deasetilasi (Aldila, 2020). Peningkatan konsentrasi NaOH pada proses reaksi menyebabkan terjadinya

peningkatan laju difusi OH<sup>-</sup> pada permukaan hingga mampu menembus penghalang sterik sampai ke dalam partikel kitin. Oleh karena itu dengan peningkatan konsentrasi NaOH dapat menyebabkan jumlah kitin yang terdeasetilasi akan semakin banyak dan meningkatkan jumlah kitosan pada sampel yang dapat diketahui dari peningkatan nilai derajat deasetilasi.

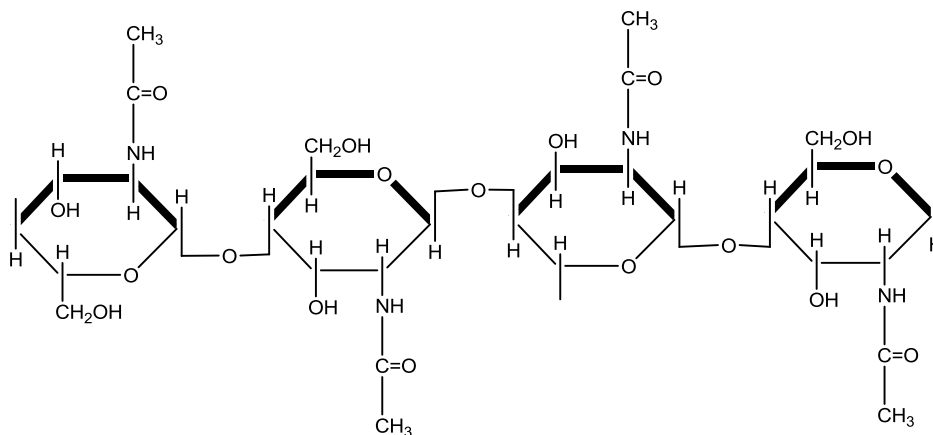
Tabel 3. Kadar logam tembaga (Cu) terlarut

Sampel	Logam Cu Terlarut (ppm)	
	Sebelum	Sesudah
NaOH 20%		0,035
NaOH 40%	0,32	0,023
NaOH 60%		0,009

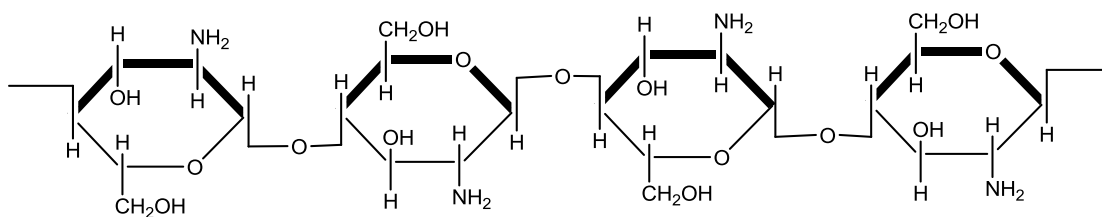
Keterangan: ppm (*part per million*)

Kadar logam tembaga terlarut pada sampel air yang telah direaksikan dengan kitosan disajikan pada Tabel 3. Secara umum kadar logam berat terlarut pada air sampel mengalami penurunan yang sangat signifikan. Penurunan kadar tembaga terlarut meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi NaOH. Hal ini dikarenakan kenaikan konsentrasi NaOH pada tahap

deasetilasi menyebabkan nilai derajat deasetilasi kitosan meningkat. Semakin besar nilai derajat deasetilasi kitosan mengindikasikan semakin banyak gugus asetil pada kitin yang terdeasetilasi sehingga meningkatkan gugus amina dan gugus hidroksil pada struktur molekul kitosan (Gambar 3 dan Gambar 4).



Gambar 3. Struktur molekul kitin



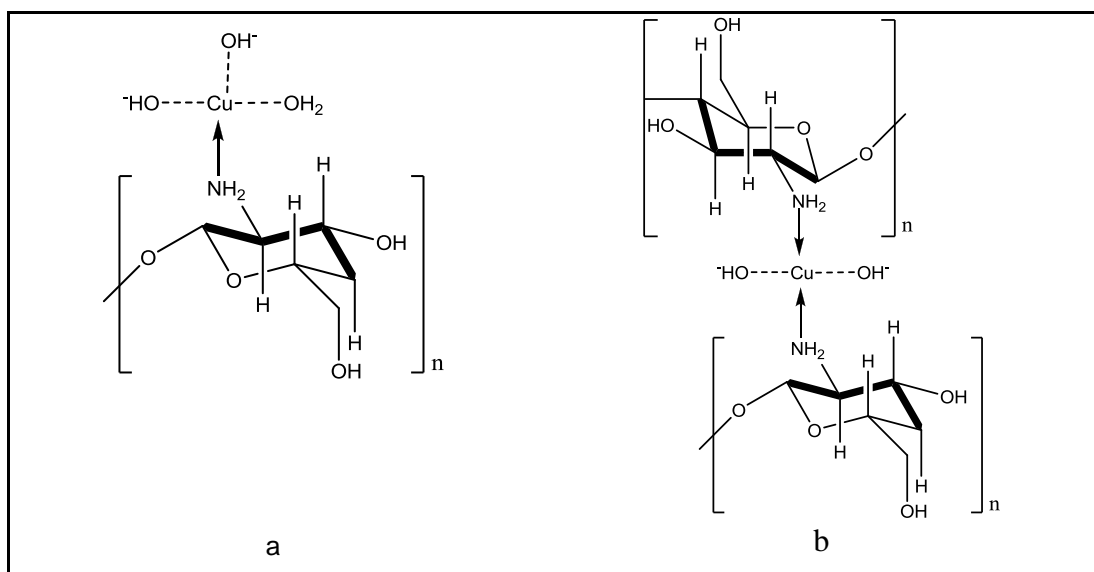
Gambar 4. Struktur molekul kitosan

Daya adsorpsi kitosan terhadap logam tembaga terlarut ditentukan oleh jumlah gugus amina dan hidroksil pada struktur kitosan. Keberadaan kedua gugus tersebut membuat kitosan mempunyai reaktivitas yang tinggi sehingga bersifat sebagai kation polielektrolit (Aldila, 2020). Salah satu model yang menjelaskan mengenai mekanisme interaksi adsorpsi kitosan dengan logam tembaga terlarut adalah model pembentukan kelat (Benavente, 2008). Model mekanisme ini mendeskripsikan interaksi gugus amina dan gugus hidroksil pada kitosan dengan logam tembaga terlarut merupakan sebuah reaksi pembentukan kompleks kelat dimana kedua gugus tersebut berperan sebagai ligan dan logam tembaga terlarut sebagai ion pusat (Gambar 5.a).

Berdasarkan deret kekuatan ligan dalam spektrokimia, gugus hidroksil yang terletak disebelah kiri gugus amina menyebabkan gugus amina lebih kuat dalam mengadsorpsi dibandingkan gugus hidroksil. Model lain yang digunakan untuk menjelaskan mekanisme adsorpsi kitosan pada logam tembaga terlarut adalah model asam-basa Lewis (Agustina, 2013). Model ini didasarkan pada jumlah pasangan elektron bebas pada oksigen dan nitrogen yang melimpah setelah proses deasetilasi didalam struktur molekul kitosan yang menyebabkan kitosan dapat berperan sebagai pendonor elektron bebas (basa Lewis) dan logam tembaga terlarut sebagai reseptor pasangan elektron bebas (asam Lewis).

Kadar logam tembaga terlarut pada air sampel setelah direaksikan dengan kitosan berkisar antara 0,009 ppm hingga 0,035 ppm dan telah memenuhi standar baku mutu air menurut

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017 dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 yaitu dibawah 0,02 ppm.



Gambar 5. Model mekanisme reaksi adsorpsi logam tembaga oleh kitosan: (a) reaksi pembentukan kelat, dan (b) reaksi asam-basa Lewis

#### 4. Kesimpulan

Ekstraksi kitosan dari limbah industri udang ebi telah berhasil dilakukan. Peningkatan konsentrasi NaOH pada tahap deasetilasi kitin menyebabkan nilai derajat deasetilasi kitosan meningkat. Jumlah gugus amina dan gugus hidroksil meningkat seiring dengan peningkatan nilai derajat deasetilasi kitosan yang menyebabkan daya adsorpsi kitosan terhadap logam tembaga terlarut pada air dari lahan bekas galian tambang timah meningkat. Mekanisme adsorpsi logam tembaga oleh kitosan dimodelkan melalui reaksi pembentukan kelat dan asam-basa Lewis. Persentase penurunan kadar logam tembaga oleh kitosan tertinggi tercapai sebesar 97,19%.

#### Ucapan Terimakasih

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Universitas Bangka Belitung yang telah membiayai kegiatan penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Tingkat Universitas No.189.N/UN50.3.1/PP/2019 untuk Tahun Pelaksanaan 2019.

#### Daftar Pustaka

Agustina, S., Kurniasih, Y. 2013. Pembuatan Kitosan dari Cangkang Udang dan Aplikasinya sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Logam Cu. Prosiding Seminar Nasional FMIPA Undiksha III. Juli, 2013. Denpasar, Indonesia. 365-372.

- Aldila, H., Asmar., Fabiani, V. A., Dalimunthe, D. Y., Irwanto, R. 2020. The Effect of Deproteinization Temperature and NaOH Concentration on Deacetylation Step in Optimizing Extraction of Chitosan from Shrimp Shells Waste. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 599(1), 1-6.
- Benavente, M. 2008. Adsorption of Metallic Ions onto Chitosan: Equilibrium and Kinetic Studies. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 55 pp.
- Dalimunthe, D. Y., Sulistiana, I., Fahria, I. 2017. Analisis Ekonomi Sumber Daya Kawasan Konservasi Laut Marine Protected Area (MPA) melalui Pemberdayaan Masyarakat Pesisir dan Pengembangan Wisata Bahari. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Bangka Belitung, 4(1), 25–31.
- Dalimunthe, D. Y., Valeriani, D., Hartini, F., Wardhani, R, S. 2020. The Readiness of Supporting Infrastructure for Tourism Destination in Achieving Sustainable Tourism Development. Society, 8(1), 217–233.
- Dompeipen, E. J. 2017. Isolasi dan Identifikasi Kitin dan Kitosan dari Kulit Udang Windu (*Penaeus monodon*) dengan Spektroskopi Inframerah. Majalah Biam, 13(1), 31–41.
- Fang, P., Xia, W., Zhou, Y., Ai, Z., Yin, W., Xia, M., Yu, J., Chi, R., Yue, Q. 2020. Ion-Imprinted Mesoporous Silica/Magnetic Graphene Oxide Composites

- Functionalized with Schiff-Base for Selective Cu(II) Capture and Simultaneously being Transformed as a Robust Heterogeneous Catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 385(1), 1-29.
- Kim, T., Kim, T. K., Zoh, K. D. 2020. Removal Mechanism of Heavy Metal (Cu, Ni, Zn, and Cr) in the Presence of Cyanide during Electrocoagulation using Fe and Al electrodes. *Journal of Water Process Engineering*, 33(1), 101-109.
- Kumari, S., Rath, P., Kumar, A. S. H., Tiwar, T.N. 2015. Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from Fishery Waste by Chemical Method. *Environmental Technology and Innovation*, 3(1), 77–85.
- Li, G., Zhang, J., Liu, J., Sun, C., Yan, Z. 2020. Adsorption Characteristics of White Pottery Clay towards Pb(II), Cu(II), and Cd(II). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(1). 1-15.
- Mezylia, A. 2018. Pemanfaatan Air Kolong Bekas Tambang Timah sebagai Penambah Sumber Air Tanah menggunakan Lubang Kompos di Bangka Belitung. *Jurnal Pendidikan Ilmu Sosia*, 27(1), 22–30.
- Prasetyono, E. 2015a. Kemampuan Kompos dalam Menurunkan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Media Budidaya Ikan. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 6(1), 21-29.
- Prasetyono, E. 2015b. Evaluasi Kegiatan Akuakultur di Kolong Pasca Tambang: Analisis Pencemaran Air Kolong. *Omniakuatika*, 11(2), 6-14.
- Purwiyanto, A. I. S., Suteja, Y., Trisno., Ningrum, P. S., Putri, W. A. E., Rozirwan., Agustriani, F., Fauziyah., Cordova, M. R., Koropitan, A. F. 2020. Concentration and Adsorption of Pb and Cu in Microplastics: Case Study in Aquatic Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 158(1), 1-9.
- Rashid, T. U., Rahman, M. M., Kabir, S., Shamsuddin, S. M., Khan, M. A. 2012. A New Approach for the Preparation of Chitosan from  $\gamma$ -Irradiation of Prawn Shell: Effects of Radiation on the Characteristics of Chitosan. *Polymer International*, 61(8), 1302–1308.
- Sari, D. P., Buchori, I. 2015. Efektivitas Program Reklamasi Pasca Tambang Timah di Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 11(3), 299–312.
- Sari, S. H. J., Kirana, J. F. A., Guntur. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Hg dan Cu Terlarut di Perairan Pesisir Wonorejo, Pantai Timur Surabaya. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 22(1), 1–9.
- Shahnaz, T., Sharma, V., Subbiah, S., Narayanasamy, S. 2020. Multivariate Optimisation of Cr (VI), Co (III) and Cu (II) Adsorption onto Nanobentonite Incorporated Nanocellulose/Chitosan Aerogel using Response Surface Methodology. *Journal of Water Process Engineering*. 36(1), 1-12.
- Shahraki, R. S., Benally, C., Din, M. G. E., Park, J. 2021. High Efficiency Removal of Heavy Metals using Tire-Derived Activated Carbon vs Commercial Activated Carbon: Insights into the Adsorption Mechanisms. *Chemosphere*, 264(1), 1-15.
- Sivakami, M. S., Gomathi, T., Venkatesan, J., Jeong, H. S., Kim, S. K., Sudha, P. N. 2013. Preparation and Characterization of Nano Chitosan for Treatment Wastewaters. *International Journal of Biological Macromolecules*. 57(1), 204–212.
- Sutirman, Z. A., Rahim, E. A., Sanagi, M. M., Karim, K. J. A., Ibrahim, W. A. W. 2020. New Efficient Chitosan Derivative for Cu(II) Ions Removal: Characterization and Adsorption Performance. *Biological Macromolecules*, 153(1), 513–522.
- Tiandho, Y., Aldila, H., Mustari., Megiyo., Afriani, F. 2018. Utilization of Wasted Cockle Shell as a Natural Coagulant and a Neutralizer of Polluted Water in Bangka Belitung Islands, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1), 1-5.
- Triswiyana, I., Permatasari, A., Kurniawan, A. 2019. Pemanfaatan Kolong Timah untuk Akuakultur: Studi Kasus Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 10(2), 99–104.
- Wahyuni, H., Sasongko, S. B., Sasongko, D. P. 2013. Kandungan Logam Berat pada Air, Sedimen dan Plankton di Daerah Penambangan Masyarakat Desa Batu Belubang Kabupaten Bangka Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. Agustus, 2013. Semarang, Indonesia. 486–494.
- Zhang, G., Liu, N., Luo, Y., Zhang, H., Su, L., Oh, K., Cheng, H., 2020. Efficient Removal of Cu(II), Zn(II), and Cd(II) from Aqueous Solutions by a Mineral-Rich Biochar Derived from a Spent Mushroom (*Agaricus bisporus*) Substrate. *Materials*, 14, 1-17.