



## Pengaruh Penambahan ZnO pada Kitosan Bead sebagai Adsorben Pencemar Ion Logam Pb(II)

Aulia Wulandari<sup>1</sup>, Khabibi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang 50275

\*Corresponding author: [khabibi@live.undip.ac.id](mailto:khabibi@live.undip.ac.id)

Received: 22 Maret 2023 / Accepted: 28 Mei 2023

Available online: 30 Mei 2023

### Abstrak

Penelitian tentang pengaruh penambahan ZnO pada kitosan beads terhadap adsorpsi ion logam Pb(II) telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh modifikasi kitosan dengan menambahkan ZnO terhadap kemampuan adsorpsi ion logam Pb(II). Pada tahap pertama dibuat adsorben: kitosan bead (butiran) dan komposit kitosan-ZnO dengan variasi penambahan ZnO 0,25; 0,50; 0,75 ; 1,00 dan 1,25 gram. Adsorben hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan morfologi permukaan dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan diaplikasikan untuk adsorpsi logam Pb(II). Optimasi adsorpsi dengan variasi massa ZnO, pH dan waktu kontak. Semua konsentrasi logam dianalisis menggunakan spektroskopi serapan atom (SSA). Adsorpsi logam Pb(II) maksimal diperoleh pada penambahan ZnO 0,25 gram pada pH 4 untuk kedua adsorben. Waktu kontak optimum adsorpsi pada 6 jam untuk kitosan bead dan 9 jam untuk kitosan- ZnO. Penambahan ZnO tidak meningkatkan mampu meningkatkan adsorpsi ion Pb(II).

**Kata Kunci:** Kitosan, ZnO, Pb(II), adsorben

## 1. Pendahuluan

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Dalam kadar yang tinggi, logam tersebut dapat mengganggu sistem saraf, organ dan sistem organ. Metoda penanganan limbah ion logam berat yang banyak digunakan adalah adsorpsi karena aman, tidak memerlukan peralatan yang rumit atau mahal, tidak membutuhkan energi yang besar dan dapat didaur ulang. Adsorpsi dipengaruhi oleh faktor seperti aktivitas kitosan, konsentrasi penjerap, suhu, pH, lama penjerapan, lama pengadukan, ukuran partikel dan jenis adsorbat [1]. Adsorpsi juga bergantung pada luas permukaan adsorben, semakin porous adsorben, maka daya adsorpsinya semakin besar.

Kitosan merupakan biopolimer alam yang dapat digunakan sebagai adsorben logam berat [2] [3]. Kandungan gugus hidroksil dan amina di sepanjang rantai polimer mengakibatkan kitosan cukup efektif mengadsorpsi kation ion logam berat. Interaksi kation logam dengan kitosan terjadi melalui pembentukan kelat koordinasi oleh atom N pada gugus amino dan atom O pada gugus hidroksil [4]. Modifikasi pada kitosan dilakukan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya dan mempertahankan kestabilan

pada larutan asam [4] [5]. Modifikasi kimia melalui substitusi pada gugus amina dan hidroksil diharapkan akan meningkatkan kestabilan kitosan dalam berbagai pH dan menambah jumlah gugus aktif yang berfungsi sebagai pengadsorpsi [4] [6].

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi kitosan menggunakan ZnO, suatu material porogen yang memiliki permukaan yang luas, tidak beracun, kestabilan kimia yang baik dan kemampuan adsorpsi yang tinggi [7] [8]. ZnO sering juga digunakan juga sebagai fotokatalisis [9]. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh ZnO pada kitosan sebagai adsorben ion logam Pb(II).

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Alat dan Bahan

**Alat:** Peralatan gelas, aluminium foil, oven, *magnetic stirrer*, *magnetic bar*, vakum, SEM, FTIR dan SSA.

**Bahan:** Serbuk kitosan (DD 80%), seng oksida (ZnO), akuades, asam asetat (CH<sub>3</sub>COOH), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), timbal nitrat (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

Doi:

## 2.2. Cara Kerja

### 2.2.1 Pembuatan kitosan bead dan komposit kitosan- ZnO

Berdasarkan metode yang telah dilakukan oleh Saeed dkk, 2014, serbuk ZnO dengan massa 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 dan 1,25 gram dilarutkan dalam 90 ml CH<sub>3</sub>COOH 1%. Kemudian ditambahkan 1,5 gram kitosan dan ditambahkan CH<sub>3</sub>COOH 1% kembali hingga volumenya menjadi 100 ml. Larutan kitosan-ZnO kemudian diaduk dengan magnetic stirrer hingga homogen (3 jam). Selanjutnya ke dalam larutan ditambahkan NaOH tetes demi tetes untuk mengatur pH larutan menjadi 10 sambil dipanaskan dengan waterbath selama 3 jam dengan suhu 60°C, setelah itu dilakukan pendinginan pada suhu ruang (37°C). Larutan kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan residu. Residu dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dengan oven selama 1 jam pada suhu 60°C. Komposit yang dihasilkan kemudian digerus hingga ukurannya sama. Seluruh perlakuan ini dilakukan juga tanpa penambahan ZnO untuk membuat kitosan bead (butiran). Keduanya kemudian dianalisa dengan FTIR dan SEM.

### 2.2.2 Penentuan massa ZnO optimum

Sebanyak 0,15 gram komposit kitosan-ZnO dengan variasi penambahan massa ZnO sebesar 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; dan 1,25 gram ditambahkan pada larutan Pb(II) sebanyak 15 ml dengan konsentrasi 50 ppm yang ditempatkan ke dalam masing-masing pada gelas beker 150 ml kemudian ditutup rapat dengan alumunium foil. Masing-masing gelas beker diaduk selama 12 jam menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan yang sama. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada kitosan tanpa penambahan ZnO. Hasil adsorpsi kemudian di saring dan filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan SSA.

### 2.2.3 Penentuan pH optimum

Larutan Pb(II) dengan konsentrasi 50 ppm, volume 15 mL diatur keasamannya pada pH 2, 3, 4, 5, 6, 7 dengan menggunakan HCl dan NaOH. Larutan dimasukkan ke dalam gelas beker 150 mL yang telah berisi 0,15 g adsorben (kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub>) dengan massa ZnO optimum kemudian ditutup rapat dengan alumunium foil. Masing-masing gelas beker diaduk selama 12 jam menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan yang sama. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada kitosan tanpa penambahan ZnO. Hasil adsorpsi kemudian di saring dan filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan SSA.

### 2.2.4 Penentuan waktu kontak optimum

Larutan Pb(II) konsentrasi 50 ppm, volume 15 mL pada pH optimum dimasukkan ke dalam gelas beker 150 mL yang telah berisi 0,15 g adsorben (kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub>) dengan massa ZnO optimum kemudian ditutup rapat dengan alumunium foil. Masing-masing gelas beker diaduk selama 3, 6, 9, 12, 15 jam menggunakan

magnetic stirrer dengan kecepatan yang sama. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada kitosan tanpa penambahan ZnO. Hasil adsorpsi kemudian di saring dan filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan SSA.

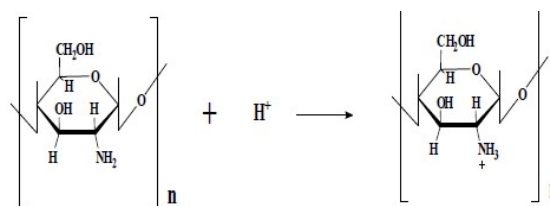
### 2.2.5 Penentuan kapasitas adsorpsi Pb(II) dalam larutan tunggal

Larutan Pb(II) konsentrasi 10, 20,30, 40, 50, 60 ppm, volume 15 mL pada pH optimum dimasukkan ke dalam gelas beker 150 mL yang telah berisi 0,15 g adsorben (kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub>) dengan massa ZnO optimum kemudian ditutup rapat dengan alumunium foil. Masing- masing gelas beker diaduk selama waktu kontak optimum menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan yang sama. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada kitosan tanpa penambahan ZnO. Hasil adsorpsi kemudian di saring dan filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan SSA.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### 3.1 Pembuatan Kitosan Bead dan Komposit Kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub>

Variasi penambahan ZnO 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 dan 1,25 gram digunakan untuk mengetahui pengaruh jumlah penambahan ZnO pada kitosan sebagai adsorben. Proses awal pembuatan masing- masing adsorben yaitu pelarutan dengan asam asetat 1%. Gugus amina pada kitosan akan menerima H<sup>+</sup> yang dilepas oleh asam asetat menjadi bermuatan positif (-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) yang menyebabkan kitosan bersifat polikationik (**Gambar 1**). Pada kitosan bead tanpa ZnO, polikationik yang terbentuk akan berperan dalam adsorpsi ion logam bersama dengan gugus OH. Untuk pembuatan komposit kitosan-ZnO, polikation yang terbentuk akan berinteraksi dengan Zn<sup>2+</sup> yang merupakan hasil ionisasi dari ZnO yang dilarutkan dalam asam asetat sebelum penambahan kitosan.stasioner.

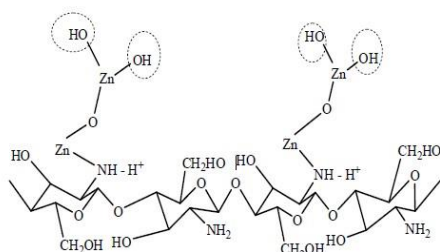


**Gambar 1.** Reaksi kitosan dengan asam asetat  
Beads kitosan-ZnO akan terbentuk dengan penambahan NaOH hingga pH 10 (Abdelhady, 2012)

Dengan bertambahnya pH maka jumlah ion OH<sup>-</sup> akan meningkat sehingga interaksi antara ion Zn<sup>2+</sup> dengan OH<sup>-</sup> semakin kuat. Hal ini menyebabkan hasil kali kelarutan ion Zn<sup>2+</sup> dan OH<sup>-</sup> yang melampaui harga K<sub>sp</sub>, sehingga terjadi pengendapan. Interaksi yang mungkin terjadi antara kitosan dan ZnO adalah interaksi secara elektrostatis dimana gugus amina (-NH<sub>2</sub>) pada kitosan berinteraksi dengan Zn<sup>2+</sup> pada

Doi:

penambahan basa NaOH, sehingga ZnO yang tidak larut dalam asam asetat akan dilapisi Zn(OH)<sub>2</sub>. OH yang terbentuk pada Zn(OH)<sub>2</sub> diharapkan menambah jumlah gugus aktif pada kitosan untuk menyerap logam. Gambaran interaksi antara larutan kitosan dengan Zn<sup>2+</sup> dan ZnO pada suasana basa ditunjukkan pada **Gambar 2**.

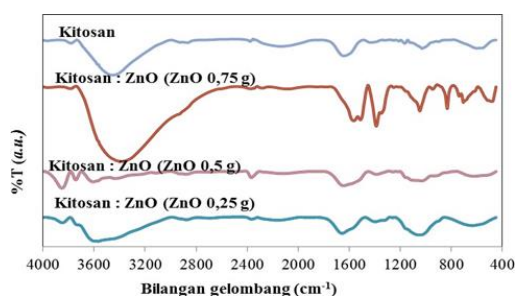


**Gambar 2** Interaksi kitosan dengan ZnO dan Zn(OH)<sub>2</sub>

Penambahan NaOH dilakukan sambil dipanaskan dalam *waterbath* untuk menguapkan sisa asam asetat dalam larutan. Residu yang telah dicuci kemudiandikeringkan dengan oven selama 1 jam pada suhu 60 . Residu yang sudah kering kemudian digerus. Ukuran adsorben disamakan untuk meminimalisir pengaruhnya pada proses adsorpsi. Perbedaan yang terlihat secara kasat mata dari kitosan *bead* dan komposit kitosan--ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> adalah pada warna. Komposit kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> terlihat lebih putih daripada kitosan *bead*. Secara bentuk, kitosan *bead* lebih keras daripada kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub>.

### 3.2 Analisis menggunakan fourier transform infrared (FTIR)

Pada spektra FTIR kitosan *bead* (butiran), bilangan gelombang 3454 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya ikatan hidrogen (OH), bilangan gelombang 2867 cm<sup>-1</sup> menunjukkan serapan vibrasi ulur C-H, bilangan gelombang 1644 cm<sup>-1</sup> menunjukkan serapan N-H pada gugus NH<sub>2</sub> dan bilangan gelombang 1027 cm<sup>-1</sup> untuk ikatan C-O. Hasil karakterisasi FTIR dapat dilihat pada **Gambar 3**.



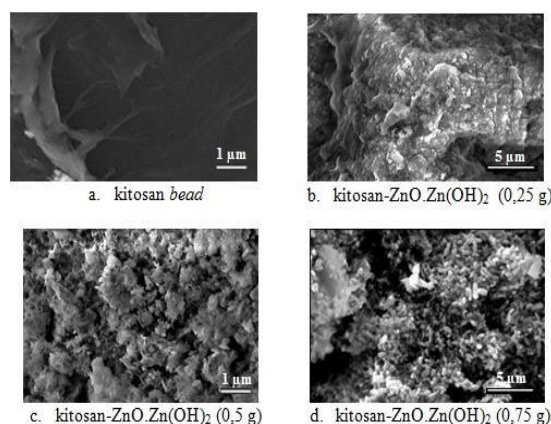
**Gambar 3**. Spektra FTIR

Pada spektra kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> terlihat pergeseran pada bilangan gelombang 3389 cm<sup>-1</sup> (ZnO 0,75 g), 3434 cm<sup>-1</sup> (ZnO 0,5 g) dan 3434 cm<sup>-1</sup> (ZnO 0,25 g) yang menunjukkan adanya serapan uluran -OH lebih lebar daripada kitosan *bead*. Serapan lain yang muncul adalah uluran -NH dari NH<sub>2</sub> yang bergeser ke bilangan gelombang lebih kecil dari kitosan *bead* yaitu 1563 cm<sup>-1</sup> (ZnO

0,75), 1642 cm<sup>-1</sup> (ZnO 0,5) dan 1642 cm<sup>-1</sup> (ZnO 0,25 gram). Hal ini menunjukkan gugus -NH<sub>2</sub> dan -OH pada kitosan mengalami kompleksasi dengan ZnO [10]. Serapan yang muncul di penambahan ZnO 0,75 gram pada bilangan gelombang 479 cm<sup>-1</sup>, menurut Rong dkk. (20. merupakan mode uluran dari ZnO. Sedangkan untuk ZnO 0,25 gram dan 0,50 gram terdapat serapan pada bilangan gelombang 620 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan melekatnya ZnO pada gugus amida.

### 3.3 Analisis Menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Morfologi yang terlihat dari citra SEM adalah berbentuk butiran-butiran yang tidak merata. Pada citra SEM terlihat perbedaan dari masing-masing adsorben. Terlihat rongga pada citra SEM yang merupakan pori dari adsorben. Morfologi kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> tampak lebih porous dan berongga dibanding dengan kitosan *bead*. Inilah penyebab kitosan *bead* lebih keras daripada kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub>. Bercak putih yang terlihat pada kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> adalah citra dari Zn(OH)<sub>2</sub>. Bercak putih yang tidak merata menunjukkan Zn(OH)<sub>2</sub> tidak merata pada permukaan kitosan. Semakin banyak jumlah ZnO, semakin tidak merata Zn(OH)<sub>2</sub> yang terlihat. Hal ini dimungkinkan karena struktur kitosan yang berlapis dan bergulung menyebabkan Zn(OH)<sub>2</sub> terjepit di tengahnya. Hasil karakterisasi SEM dapat dilihat pada **Gambar 4**.

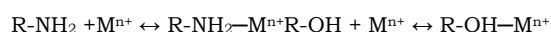


**Gambar 4** Citra SEM

### 3.4 Penentuan massa ZnO optimum

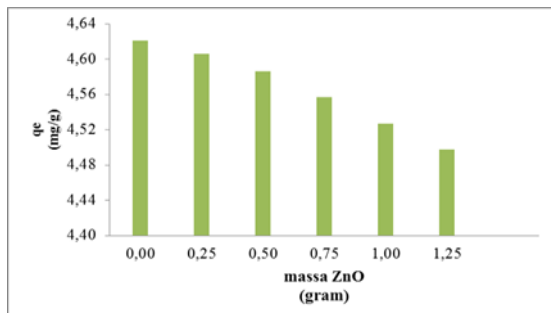
Masing-masing adsorben dengan berat yang sama dimasukkan kedalam larutan Pb<sup>2+</sup> yang volume dan konsentrasinya sama. Kecepatan dan lama pengadukan juga disamakan untuk masing-masing adsorben supaya meminimalisir perbedaan pengaruhnya pada proses adsorpsi.

Ion logam, Pb(II) berperan sebagai asam lewis yang mempunyai orbital yang dapat menerima elektron. Gugus amina dan hidroksil pada kitosan dan kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> berperan sebagai basa lewis yang mempunyai elektron bebas untuk didonorkan. Sehingga akan terjadi penjerapan ion logam. Persamaan reaksi yang terjadi adalah:



Doi:

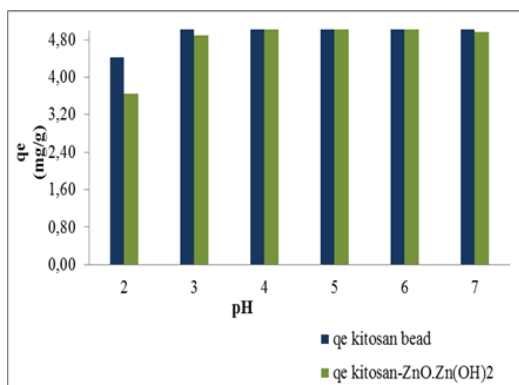
Pada **Gambar 5** terlihat adanya penurunan kapasitas adsorpsi seiring dengan penambahan ZnO. Kapasitas adsorpsi tertinggi menggunakan kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> sebesar 4,61 mg/g, pada penambahan 0,25 gram ZnO. Massa optimum ZnO yang digunakan untuk penentuan selanjutnya adalah 0,25 gram.



**Gambar 5** Kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II) pada penentuan massa ZnO optimum

### 3.5 Penentuan pH optimum

Salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah pH karena dapat mempengaruhi kelarutan adsorben, tingkat ionisasi ion logam sebagai adsorbat dan mempengaruhi jumlah ion pada gugus aktif adsorben. Kitosan sebagai adsorben memiliki kekurangan yaitu mudah larut pada larutan asam. Untuk meminimalisir kekurangan tersebut ditambahkan ZnO pada kitosan yang diharapkan dapat menambah kestabilan kitosan di larutan asam kuat, karena ZnO memiliki kestabilan kimia yang baik pada asam kuat [11].



**Gambar 6** Kapasitas adsorpsi pada penentuan pH optimum

Hasil penentuan pH optimum ditunjukkan pada **Gambar 6**. Kapasitas adsorpsi tertinggi didapat pada pH 4, yaitu 5,06 mg/g pada kitosan tanpa ZnO dan pH 4 sebesar 5,07 mg/g pada kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> (ZnO 0,25 g). Perbedaan ini tidak cukup signifikan.

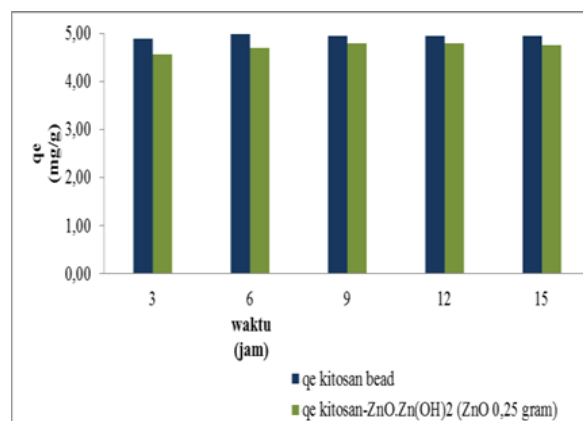
Kapasitas adsorpsi kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> pada pH 2 yang lebih rendah daripada kitosan-*bead*, menunjukkan belum nampak kemampuan ZnO sebagai penambah kestabilan untuk kitosan. Rendahnya kapasitas adsorpsi kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> pada larutan asam kuat

disebabkan karena melarutnya OH sebagai gugus aktif penjerap ion logam.

Pada pH basa/mendekati basa akan terjadi hasil kali kelarutan ion logam dan OH<sup>-</sup> yang melampaui harga *K<sub>sp</sub>*, sehingga terjadi proses pengendapan ion logam. Hal ini sesuai dengan diagram pourbaix yang menunjukkan ion Pb(II) akan berubah menjadi Pb(OH)<sub>2</sub>, dimana fasennya menjadi padat. Pengendapan ini yang mempengaruhi menurunnya kapasitas adsorpsi seiring dengan meningkatnya pH

### 3.6 Penentuan waktu kontak optimum

Faktor lain yang mempengaruhi adsorpsi adalah waktu kontak adsorben. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi Pb dengan adsorben kitosan tanpa ZnO dan kitosan-ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> (ZnO 0,25 g) terlihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7** Kapasitas adsorpsi pada penentuan waktu kontak optimum

Adsorpsi mencapai jumlah maksimum pada waktu 6 jam untuk adsorben kitosan *bead* tanpa ZnO (4,96 mg/g) dan 9 jam untuk kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> (ZnO 0,25 g) (4,80 mg/g). Waktu optimum ini adalah dimana adsorben telah mencapai kesetimbangan. Terbukti terjadi penurunan kapasitas adsorpsi pada kedua adsorben setelah waktu kontak optimum. Hal ini dikarenakan terjadinya desorpsi sehingga ion logam yang telah terjerap dalam adsorben lepas kembali kedalam larutan.

Pada penentuan pH dan waktu kontak optimum, terlihat kapasitas adsorpsi kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> lebih rendah daripada kitosan *bead* pada beberapa keadaan (pH dan waktu). Ini menunjukkan kemampuan ZnO kurang maksimal terhadap kitosan. Struktur kitosan yang berlapis dan bergulung menyebabkan Zn(OH)<sub>2</sub> terjerap di tengahnya, sehingga kemampuannya sebagai adsorben terganggu. Hal ini menunjukkan pada berat adsorben yang sama dan dalam keadaan setimbang, berat adsorbat yang teradsorpsi dalam kitosan- ZnO.Zn(OH)<sub>2</sub> lebih sedikit dibanding kitosan *bead*.

### Kesimpulan

Adsorpsi logam Pb(II) maksimal diperoleh pada penambahan ZnO 0,25 gram pada pH 4

Doi:

untuk kedua adsorben. Waktu kontak optimum adsorpsi pada 6 jam untuk kitosan *bead* dan 9 jam untuk kitosan- ZnO. Penambahan ZnO tidak meningkatkan mampu meningkatkan adsorpsi ion Pb(II).

### Daftar Pustaka

- [1] Liu, Dagang, Zehui Li, Yi Zhu, Zhenxuan Li, Rakesh Kumar, Recycled chitosan nanofibril as an effective Cu (II), Pb (II) and Cd (II) ionic chelating agent: adsorption and desorption performance, *Carbohydrate polymers*, 111, (2014), 469-476  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.018>
- [2] Rahayu, Puji, Khabibi Khabibi, Adsorpsi Ion Logam Nikel (II) oleh Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19, 1, (2016), 21-26  
<https://doi.org/10.14710/jksa.19.1.21-26>
- [3] Bhumkar, Devika R, Varsha B Pokharkar, Studies on effect of pH on cross-linking of chitosan with sodium tripolyphosphate: a technical note, *Aaps Pharmscitech*, 7, (2006), E138-E143  
<https://doi.org/10.1208/pt070250>
- [4] Lusiana, Retno Ariadi, Ahmad Suseno, Khabibi Khabibi, Cahyaning Gesti Faradina, Pengaruh Tripolifosfat Sebagai Agen Taut Silang Pada Membran Kitosan Terhadap Karakter Fisikokimia dan Kemampuan Permeasi, *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 1, 1, (2021), 19-24  
<https://doi.org/10.14710/giec.2021.10898>
- [5] Li, CB, S Hein, K Wang, Biosorption of chitin and chitosan, *Materials Science and Technology*, 24, 9, (2008), 1088-1099  
<https://doi.org/10.1179/174328408X341771>
- [6] Thanou, M, JC Verhoef, HE Junginger, Oral drug absorption enhancement by chitosan and its derivatives, *Advanced drug delivery reviews*, 52, 2, (2001), 117-126  
[https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(01\)00231-9](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00231-9)
- [7] Singh, Jai, Sandip S Patil, Mahendra A More, Dilip S Joag, RS Tiwari, ON Srivastava, Formation of aligned ZnO nanorods on self-grown ZnO template and its enhanced field emission characteristics, *Applied Surface Science*, 256, 21, (2010), 6157-6163  
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.03.130>
- [8] Lee, Sung-Tao, Fwu-Long Mi, Yu-Ju Shen, Shin-Shing Shyu, Equilibrium and kinetic studies of copper (II) ion uptake by chitosan-tripolyphosphate chelating resin, *Polymer*, 42, 5, (2001), 1879-1892  
[https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00402-X](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00402-X)
- [9] Fardhani, Dea Ayu, Abdul Haris, Linda Suyati, Didik Setiyo Widodo, Sintesis Elektroda Lapis Tipis Sn-Zno/FTO Secara Elektrodposisi dan Aplikasi pada Degradasi Remazol Black B (RBB), *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2, 1, (2022), 18-24  
<https://doi.org/10.14710/giec.2022.12877>
- [10] Anandhavelu, Shanmugam, Sivalingam Thambidurai, Preparation of chitosan-zinc oxide complex during chitin deacetylation, *Carbohydrate polymers*, 83, 4, (2011), 1565-1569  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.10.006>
- [11] Beverskog, B, I Puigdomenech, Revised pourbaix diagrams for zinc at 25-300 C, *Corrosion Science*, 39, 1, (1997), 107-114  
[https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(97\)89246-3](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(97)89246-3)