

# PENYISIHAN LOGAM Cr LIMBAH CAIR INDUSTRI ELEKTROPLATING MENGUNAKAN BIONANOMATERIAL *CHITOSAN* LIMBAH CANGKANG KULIT UDANG

Shinta Elystia<sup>1</sup>, Zultiniar<sup>2</sup>, dan Juniwarnis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Riau

<sup>2</sup> Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau

Email: shintaelystia@yahoo.com

## ABSTRAK

Nanomaterial merupakan material fungsional yang berukuran dibawah 100 nm. *chitosan* merupakan nanomaterial dari alam yang ramah lingkungan, mudah terurai dan tidak beracun. Kemampuan *chitosan* menjadi bionanomaterial dapat meningkatkan kemampuan dalam mengadsorpsi logam berat. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakterisasi *chitosan* menggunakan FTIR dan ukuran bionanomaterial *chitosan* menggunakan XRD serta mengetahui kemampuan penyisihan logam Cr menggunakan bionanomaterial *chitosan* dengan variasi massa 2, 4, 6, 8 gram dan waktu pengadukan 30, 60, 90 menit menggunakan *jar test* dengan kecepatan putaran 100 rpm. Hasil adsorpsi dianalisa konsentrasinya menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Dari hasil spektrum FTIR Chitosan yang dibuat pada penelitian ini terdapat gugus fungsi Chitosan serta diperoleh nilai DD sebesar 90,9%. Ukuran partikel bionanomaterial chitosan dari hasil analisa XRD yaitu 73,73 nm. Efisiensi penyisihan optimum logam Cr pada limbah cair elektroplating yaitu pada massa 4 gram selama 30 menit sebesar 97,528% dengan konsentrasi akhir 0,534 mg/L. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bionanomaterial *chitosan* dapat digunakan secara efektif dalam menurunkan konsentrasi logam Cr

Kata kunci— bionanomaterial *chitosan*; logam Cr; limbah cair elektroplating

## PENDAHULUAN

Perkembangan industri memberikan kemudahan bagi manusia namun juga menimbulkan permasalahan serius bagi lingkungan (Jiang *et al.*, 2019). Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair elektroplating merupakan salah satu masalah serius. Hal ini disebabkan limbah cair elektroplating mengandung logam berat yang berbahaya bagi lingkungan. Adapun logam berat yang paling banyak ditemukan pada limbah cair yaitu Cu, Cd, Cr, dan Ni (Petcu *et al.*, 2015). Selain itu pencemaran logam berat dapat memberikan dampak besar bagi biosfer. Besarnya dampak yang akan ditimbulkan oleh pencemaran logam berat membutuhkan pengolahan lebih lanjut sebelum dibuang ke lingkungan (Jiang *et al.*, 2019; Prasetyaningrum & Dharmawan, 2018). Adapun berbagai cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran logam berat yaitu adsorpsi, filtrasi, *reverse osmosis*, oksidasi kimia atau reduksi, karbon aktif, sedimentasi, koagulasi, *ion exchange*, membran, elektrodialisis (Kwok *et al.*, 2018). Pada penelitian ini digunakan metode adsorpsi dengan adsorben berbasis nano. Adsorpsi dipilih karena efektif, mudah digunakan, konsumsi energi yang rendah, ekonomis, dan memiliki efisiensi penyisihan yang tinggi. Pemanfaatan limbah menjadi adsorben akan meningkatkan nilai ekonomis adsorben (Jain *et al.*, 2015; Olivera *et al.*, 2016).

Nanoteknologi adalah ilmu dan rekayasa dalam penciptaan material, struktur fungsional, maupun piranti dalam skala nanometer. Bionanomaterial merupakan material yang tersusun dari molekul biologi seperti antibodi, protein atau enzim, RNA dan DNA yang menghasilkan struktur molekul berskala nanometer (Honek, 2013). Nanopartikel dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu nanopartikel organik dan nanopartikel anorganik. Partikel nano organik termasuk nanopartikel dari karbon sementara beberapa nanopartikel anorganik dapat mencakup nanopartikel magnetik, nanopartikel logam mulia, dan semi konduktor nanopartikel (Sahayaraj, 2012). Kelebihan yang dimiliki nanopartikel adalah ukuran partikel yang kecil dan luasnya permukaan yang mana secara teori dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari adsorben nanopartikel (Das *et al.*, 2019).

*Chitosan* tergolong biopolimer alam yang bersifat polielektrolit kationik, ramah lingkungan, mudah terdegradasi, tidak beracun dan berpotensi tinggi menjadi bahan pengikat logam (Supriyantini *et al.*, 2018). *Chitosan* dapat diperoleh dari cangkang *crustacea* yaitu udang, kepiting, dan serangga

(Kaur & Dhillon, 2015). *Chitosan* digunakan sebagai penjerap logam dikarenakan kandungan hidroksil dan grup amina yang dapat bertindak sebagai *ion exchange* (Kaur & Dhillon, 2015; Zhang *et al.*, 2016). Untuk memperoleh *chitosan* dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi maka perlu melalui fisika atau kimia proses. Proses ini dilakukan untuk meningkatkan reaktivitas polimer dan untuk mencapai reaksi kinetik (Mudasir Ahmad, Shakeel Ahmed, 2015; Wan Ngah *et al.*, 2011). *Chitosan* dalam bentuk nanopartikel bersifat netral, tidak toksik, memiliki stabilitas yang konstan, dan kemampuan yang lebih baik dalam mengadsorpsi logam berat karena memiliki permukaan yang spesifik, ukuran nanometer, dan efek kuantum sehingga daya serap ion logam menjadi lebih tinggi (Sivakami *et al.*, 2013). Selain itu, kemampuan *chitosan* sebagai nanomaterial juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri (Yudhasasmita & Nugroho, 2017). Oleh karena itu penelitian ini diperlukan untuk mengetahui karakterisasi *chitosan* menggunakan instrumen FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan bionanomaterial *chitosan* menggunakan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*) serta efisiensi penyisihan logam Cr dengan variasi massa dan waktu pengadukan pada limbah cair elektropating.

## METODOLOGI PENELITIAN

### A. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah cangkang kulit udang, HCl 1 N, NaOH 3,5%, NaOH 50%, tripolipospat, asam asetat 2%, dan akuades. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi ayakan 200 mesh, lumpang, oven, desikator, aluminium foil, timbangan analitik, *magnetic stirrer with hot plate*, kertas saring, *jar test*, dan alat gelas lainnya.

### B. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini diawali dengan pembuatan serbuk *chitosan* dari limbah cangkang kulit udang, lalu dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR, dilanjutkan dengan pembuatan serbuk bionanomaterial *chitosan*, lalu dilakukan karakterisasi menggunakan XRD. Kemudian serbuk bionanomaterial *chitosan* dikontakkan dengan limbah cair industri elektroplating dengan variasi massa dan waktu pengadukan lalu dianalisa menggunakan instrumen AAS.

#### 1) Pembuatan Adsorben

##### a. Sintesis *Chitosan*

Cangkang kulit udang dicuci dan dibersihkan lalu direbus selama 15 menit. setelah direbus, cangkang kulit udang dikeringkan 1 hari dan dioven suhu 110°C selama 1 jam (Agustina & Kurniasih, 2013). Cangkang kulit udang dihancurkan menggunakan lumpang dan dihaluskan menggunakan blender lalu diayak menggunakan ayakan 200 mesh. 100 gram serbuk cangkang kulit udang dilarutkan pada HCl 1 N perbandingan (1:7). Serbuk diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit dan dipanaskan pada suhu 80-90°C selama 1 jam. Padatan disaring dan dicuci hingga pH netral lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C hingga berat konstan. Setelah itu serbuk dilarutkan pada NaOH 3,5% perbandingan (1:10) dan diaduk sambil dipanaskan pada suhu 70-80°C selama 1 jam. Padatan disaring dan dicuci hingga pH netral lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C hingga berat konstan. Serbuk *chitin* dilarutkan pada NaOH 50% perbandingan (1:15) dan diaduk sambil dipanaskan pada suhu 80-90°C selama 2 jam. Padatan disaring dan dicuci hingga pH netral lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C hingga berat konstan (Supriyantini *et al.*, 2018).

##### b. Sintesis Bionanomaterial *Chitosan*

Sebanyak 3 gram *chitosan* dilarutkan ke dalam asam asetat 2% 1 L, ditambahkan 200 mL larutan tripolipospat (mg/ml) sebanyak 200 ml secara perlahan sambil diaduk dengan kecepatan 1200 rpm. Padatan disaring dan dicuci hingga pH netral lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C hingga berat konstan (Yudhasasmita & Nugroho, 2017).

##### c. Adsorpsi Cr Menggunakan Bionanomaterial *Chitosan*

Sebanyak 500 mL limbah cair elektroplating dimasukkan kedalam gelas kimia 1000 mL untuk setiap variasi massa bionanomaterial *chitosan* ( 2; 4; 6; 8 gram) dan waktu pengadukan (30; 60; 90 menit) dengan kecepatan 100 rpm. Setelah diaduk, didiamkan selama 30 menit.

#### 2) Pengamatan

Pengamatan dilakukan pada serbuk *chitosan* menggunakan instrumen FTIR, serbuk bionanomaterial *chitosan* menggunakan instrumen XRD, dan efisiensi penyisihan menggunakan instrumen AAS.

### a. Analisa Gugus Fungsi

Analisa gugus fungsi *chitosan* dilakukan menggunakan instrumen FTIR. Kemudian digunakan metode *base line* untuk memperoleh nilai derajat deasetilasi.

$$A = \log \frac{T_0}{T} \dots\dots\dots(1)$$

keterangan:  $T_0$  = % transmitan pada garis dasar  
 $T$  = % transmitan pada puncak minimum

$$\% N - Deasetilasi = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \times \frac{1}{1,33} \right] \right\} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

keterangan:  $A_{1655}$  = absorbansi panjang gelombang 1655 ( $\text{cm}^{-1}$ )  
 $A_{3450}$  = absorbansi panjang gelombang 3450 ( $\text{cm}^{-1}$ )

### b. Analisa Ukuran partikel

Analisa ukuran partikel bionanomaterial *chitosan* dilakukan menggunakan instrumen XRD. Kemudian digunakan persamaan *scherrer*.

$$D = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots(3)$$

keterangan:  $\lambda$  = panjang gelombang radiasi ( $\text{\AA}$ )  
 $\beta$  = *Full Widht at Half Maxium* (rad)  
 $\theta$  = sudut Bragg ( $^\circ$ )

### c. Analisa Efisiensi Penyisihan

Analisa efisiensi penyisihan logam Cr menggunakan instrumen AAS. Kemudian menggunakan rumus efisiensi.

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{C_{in} - C_{ef}}{C_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

keterangan:  $C_{in}$  = konsentrasi awal (mg/L)  
 $C_{ef}$  = konsentrasi akhir (mg/L)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

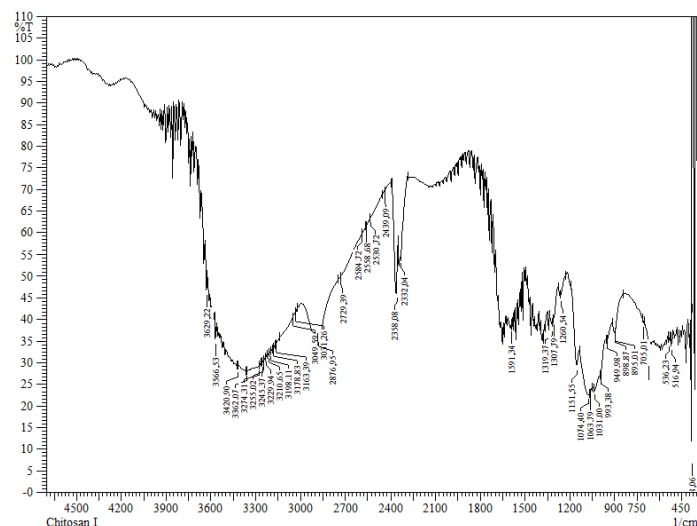
### A. Karakteristik *Chitosan* Menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Analisa *chitosan* menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dan tingkat kemurnian *chitosan*. Tingkat kemurnian dapat diketahui dari nilai derajat deasetilasi *chitosan*. Semakin tinggi derajat deasetilasi maka jumlah gugus amina ( $\text{NH}_2$ ) pada rantai molekul *chitosan* akan semakin banyak sehingga *chitosan* akan semakin murni. Derajat deasetilasi juga dapat digunakan untuk membedakan *chitin* dan *chitosan* (Azizati, 2019; Bahri *et al.*, 2015). Berikut Tabel 1 karakteristik pita spektra FTIR *chitosan*.

Tabel 1. Karakteristik Pita Spektra FTIR *Chitosan*

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang <i>Chitosan</i> ( $\text{cm}^{-1}$ )
O-H <i>steching</i>	3377,95
N-H <i>streching</i>	3420,90
N-H <i>bending</i>	1591,34
C-H <i>bending</i>	1591,34
C-N <i>streching</i>	1319,37
C-O <i>streching</i>	1307,79

Adsorbansi pada bilangan gelombang untuk gugus amida  $-\text{NHCO}$  ( $1650 \text{ cm}^{-1}$  -  $1500 \text{ cm}^{-1}$ ) dan absorbansi amina primer  $-\text{NH}_2$  ( $3500 \text{ cm}^{-1}$  -  $3200 \text{ cm}^{-1}$ ) (Branca *et al.*, 2016). Pada Tabel 1 dapat dilihat terdapat gugus OH pada panjang gelombang  $3377,95 \text{ cm}^{-1}$  yang berguna untuk melepaskan gugus asetil dari gugus asetemida dan menghasilkan gugus amina ( $\text{NH}_2$ ) yang dapat mengikat logam berat (Supriyantini *et al.*, 2018). Berikut Gambar 1 hasil analisa FTIR *chitosan* uji.

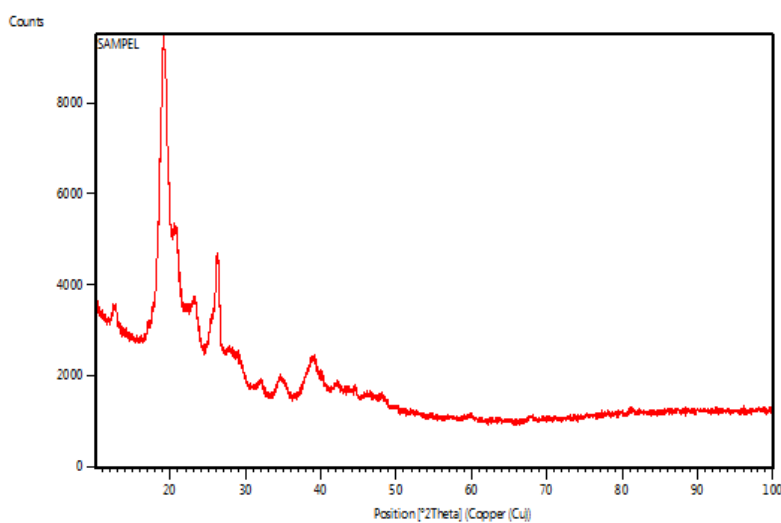


Gambar 1. Hasil Analisa FTIR *Chitosan*

Hasil analisa FTIR pada Gambar 1 menunjukkan gelombang spesifik yang muncul pada spektra FTIR. Perhitungan derajat deasetilasi dilihat berdasarkan nilai absorbansi pita serapan dari spektrum bilangan gelombang  $1655\text{ cm}^{-1}$  dan bilangan gelombang  $3450\text{ cm}^{-1}$ . Kualitas *chitosan* dapat diketahui dari berapa persen derajat deasetilasi. Perhitungan menggunakan metode *base line* untuk memperoleh nilai derajat deasetilasi yaitu sebesar 90,9%. Nilai derajat deasetilasi pada penelitian ini lebih besar dibandingkan pada penelitian sebelumnya yaitu 80,30% (Supriyantini *et al.*, 2018). Gugus amino yang dihasilkan proses deasetilasi tersebut menyebabkan *chitosan* memiliki kemampuan lebih besar dalam menyerap logam, hal ini disebabkan gugus tersebut memiliki reaktivitas yang tinggi dan dapat berperan sebagai amino pengganti (*amino exchanger*) karena sifatnya yang polielektrolit kation (Supriyantini *et al.*, 2018). Apabila derajat deasetilasi *chitosan* lebih dari 60% maka *chitosan* siap digunakan sebagai adsorben dan *chitosan* juga dapat dikatakan siap digunakan sebagai adsorben apabila nilai derajat deasetilasi lebih besar dari 50% (Asni *et al.*, 2014; Vilar Junior *et al.*, 2016).

### B. Karakteristik Bionanomaterial *Chitosan* Menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel bionanomaterial *chitosan* yang dibuat. Pada difaktogram bionanomaterial *chitosan* terdapat 3 puncak utama pada  $2\theta$  yaitu  $19,1413^\circ\text{C}$ ,  $20,7851^\circ\text{C}$ , dan  $26,2221^\circ\text{C}$ . Data 3 puncak tertinggi intensitasnya dihitung menggunakan persamaan *scherrer* untuk mengetahui ukuran partikel bionanomaterial *chitosan*. Berikut Gambar 2 difaktogram bionanomaterial *chitosan*.

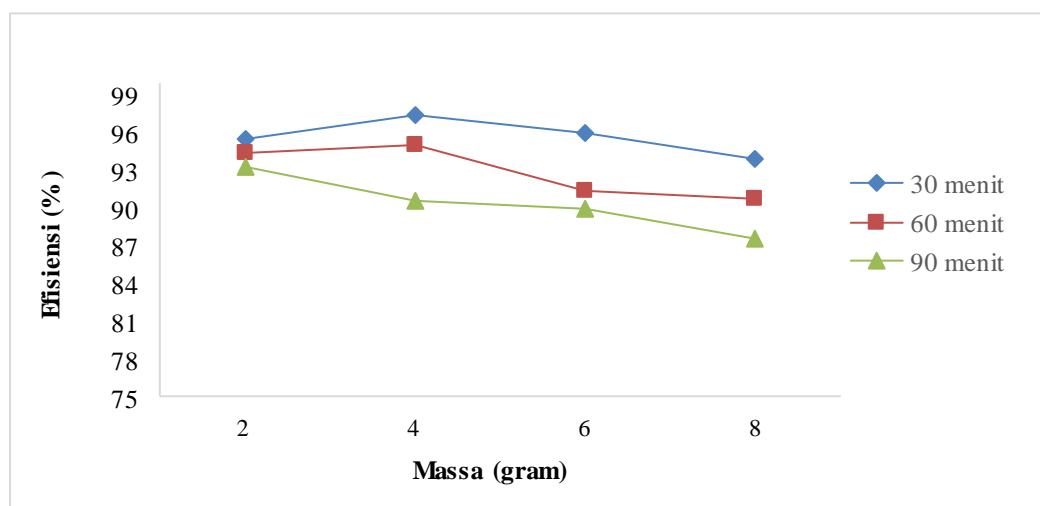


Gambar 2. Hasil Analisa Difaktogram XRD Bionanomaterial *Chitosan*

Pada penelitian ini didapatkan ukuran partikel sebesar 73,73 nm dimana ukuran nanopartikel berkisar dari 1-100 nm (Prasetiowati *et al.*, 2018). Berdasarkan ukuran tersebut, bionanomaterial *chitosan* pada penelitian ini adalah nanopartikel. Hal ini disebabkan pengecilan ukuran menggunakan *magnetic stirrer* dapat menghasilkan ukuran partikel dibawah 1000 nm dan lebih stabil (Al-Remawi, 2012). Bentuk dan ukuran dari nanopartikel dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya konsentrasi TPP, konsentrasi larutan *chitosan*, rasio volume larutan *chitosan* dan TPP, lama pengadukan, kecepatan pengadukan, dan lamanya waktu penyimpanan (Yudhasasmita & Nugroho, 2017).

### C. Penentuan Massa Bionanomaterial *Chitosan* dan Waktu Pengadukan Terbaik Terhadap Efisiensi

Penentuan massa bionanomaterial *chitosan* optimum terhadap penurunan kadar logam Cr pada rentang massa 2 - 8 gram dan waktu pengadukannya yaitu 30, 60 dan 90 menit dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil pengujian kondisi optimum adsorpsi tercapai pada penggunaan massa 4 gram dengan waktu pengadukan selama 30 menit yaitu penurunan konsentrasi Cr dari 21,6 mg/L menjadi 0,534 mg/L dengan efisiensi penyisihan 97,528%.

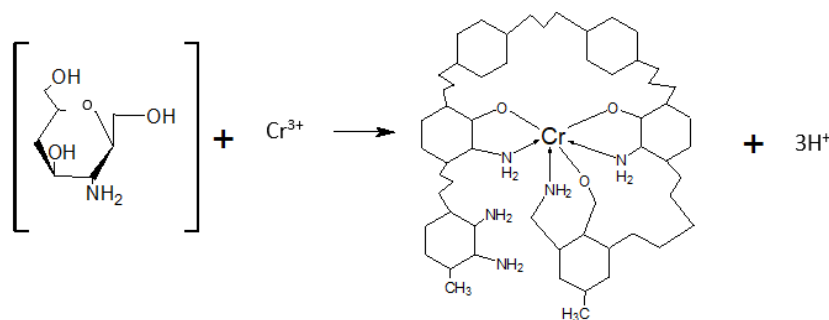


Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Massa dan Waktu Pengadukan Terhadap Efisiensi Penyisihan Cr

Dari Gambar 3 dapat dilihat apabila massa bionanomaterial *chitosan* telah melampaui kondisi optimumnya maka akan terjadi penurunan efisiensi yaitu pada penambahan massa 6 dan 8 gram. Hal ini dikarenakan jumlah adsorben yang melebihi berat optimum akan menyebabkan terjadinya kejenuhan pada sisi aktif adsorben sehingga menurunkan daya serapnya (Geraldina *et al.*, 2016), atau dengan kata lain penurunan penyerapan konsentrasi logam terjadi akibat sisi aktif *chitosan* telah jenuh oleh ion logam Cr. Selain itu, penurunan efisiensi juga bisa disebabkan terjadinya gumpalan-gumpalan pada adsorben sehingga akan mengurangi luas dari permukaan dari adsorben tersebut untuk menyerap adsorbatnya. Kondisi optimum terjadi karena penyerapan bionanomaterial *chitosan* dan logam berat mencapai titik setimbang (Riswanda *et al.*, 2014).

Waktu penyerapan terbaik pada 30 menit, sedangkan pada waktu 60 dan 90 menit penyerapan terus mengalami penurunan. Hal ini menggambarkan pada saat adsorpsi berlangsung selama 30 menit, gugus aktif telah berada dalam kondisi jenuh oleh ion logam Cr, yang menyebabkan zat terlarut yang diadsorpsi akan mencapai batas maksimum, akibat dari permukaan adsorben ataupun gugus aktif yang terdapat pada adsorben tidak dapat lagi menjerap adsorbat dan semakin lama waktu ion Cr yang sudah terikat pada bionanomaterial *chitosan* akan terdesorpsi kembali ke dalam larutan. Nucifera *et al* (2016) melakukan penelitian menggunakan adsorben *chitosan* kaolin untuk menyerap logam Cu dengan variasi waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150 menit dan memperoleh hasil terbaik pada waktu 30 menit. Waktu pengadukan yang terlalu lama akan melewati keadaan setimbang dan mengalami

kejenuhan Selama proses pengadukan terjadi pembentukkan ikatan antara adsorben dan logam sehingga dapat menurunkan konsentrasi logam. Ikatan yang terjadi antara adsorben dan logam disebut pembentukkan senyawa kompleks. Berikut Gambar 4 ikatan antara adsorben *chitosan* dan logam Cr selama waktu pengadukan.



Gambar 4. Reaksi *Chitosan* dan Logam Cr

Gambar 4 menunjukkan terjadinya pembentukkan senyawa kompleks antara *chitosan* dengan ion logam Cr, dimana *chitosan* berperan sebagai ligan dan ion logam Cr berperan sebagai ion pusat. Hal ini disebabkan oleh melimpahnya pasangan elektron bebas pada oksigen dan nitrogen pada struktur molekul *chitosan* sehingga *chitosan* berperan sebagai donor pasangan elektron bebas (basa lewis) dan ion logam Cr berperan sebagai reseptor pasangan elektron bebas (asam lewis) (Agustina & Kurniasih, 2013).

Menurut Thariq *et al* (2016) *chitosan* berpotensi tinggi untuk penyerapan logam. Hal ini disebabkan *chitosan* merupakan biopolimer alam yang bersifat polielektrolit kationik. Beberapa peneliti seperti Agustina & Kurniasih (2013) menggunakan *chitosan* dari limbah cangkang udang untuk menyisihkan kadar logam Cu, Stevano *et al* (2016) menggunakan *chitosan* dari cangkang bekicot sebagai adsorben logam berat Zn, dan Supriyantini *et al* (2018) menggunakan *chitosan* dari limbah cangkang rajungan untuk menyisihkan logam Pb, penyisihan tertinggi rata-rata mencapai 80-90%. Nanomaterial dari *chitosan* meningkatkan efektivitas penyerapan terhadap logam dengan sifat unggul yang dimilikinya yaitu permukaan yang spesifik, luas permukaan yang lebih besar, dan ukuran partikel yang lebih stabil (Sivakami *et al.*, 2013). Yudhasasmita & Nugroho (2017) menggunakan *nanochitosan* dalam menyisihkan logam Cd dan sebagai antibakteri koliform memperoleh hasil penyisihan diatas 90% dan penghambatan pertumbuhan bakteri pada penambahan *chitosan* 0,4 gr/50 mL asam asetat.

## KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu hasil dari karakterisasi *chitosan* menggunakan FTIR adalah Derajat Deasetilasi (DD) *chitosan* sebesar 90,9%. Hal ini berarti *chitosan* banyak mengandung gugus amina dan hidroksil. Ukuran bionanomaterial *chitosan* diperoleh sebesar 73,73 nm menggunakan XRD. Variasi massa bionanomaterial *chitosan* serta waktu pengadukan optimum dalam menyisihkan logam Cr pada limbah cair elektroplating yaitu pada massa 4 gram selama 30 menit yaitu terjadi penurunan konsentrasi logam Cr dari 21,6 mg/l menjadi 0,534 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 97,528%. Hal ini membuktikan bahwa bionanomaterial *chitosan* dapat digunakan secara efektif dalam menurunkan konsentrasi logam Cr.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., & Kurniasih, Y. (2013). Pembuatan kitosan dari cangkang udang dan aplikasinya sebagai adsorben untuk menurunkan kadar logam cu. *Seminar Nasional FMIPA UNDIKSHA III*, 365–372.
- Al-Remawi, M. M. A. (2012). Properties of chitosan nanoparticles formed using sulfate anions as crosslinking bridges. *American Journal of Applied Sciences*, 9(7), 1091–1100. doi:0.3844/ajassp.2012.1091.1100

- Asni, N., Saadilah, M. A., & Saleh, D. (2014). Optimasi Sintesis Kitosan dari Cangkang Kepiting Sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II). *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 15(1), 18–25.
- Azizati, Z. (2019). *KULIT UDANG GALAH Department, Sains and Technology Faculty of Walisongo Islamic State University Semarang, Central Java, Indonesia DD =*. 2(1), 10–16.
- Bahri, S., Rahim, E. A., & Syarifuddin, S. (2015). Derajat Deasetilasi Kitosan dari Cangkang Kerang Darah dengan Penambahan Naoh secara Bertahap. *Kovalen*, 1(1), 36–42. doi:10.22487/j24775398.2015.v1.i1.5161
- Branca, C., D'Angelo, G., Crupi, C., Khouzami, K., Rifici, S., Ruello, G., & Wanderlingh, U. (2016). Role of the OH and NH vibrational groups in polysaccharide-nanocomposite interactions: A FTIR-ATR study on chitosan and chitosan/clay films. *Polymer*, 99, 614–622. doi:10.1016/j.polymer.2016.07.086
- Das, R. P., Gandhi, V. V., Singh, B. G., Kunwar, A., Kumar, N. N., & Priyadarsini, K. I. (2019). Preparation of albumin nanoparticles: Optimum size for cellular uptake of entrapped drug (Curcumin). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 567(November 2018), 86–95. doi:10.1016/j.colsurfa.2019.01.043
- Geraldina, G., Taslimah, T., & Nuryanto, R. (2016). Pemanfaatan Montmorillonit Terpilar Al-Cr pada Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B dengan Variasi Massa Adsorben dan Waktu Adsorpsi. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(3), 99–106. doi:10.14710/jksa.19.3.99-106
- Honek, J. F. (2013). Bionanotechnology and bionanomaterials: John Honek explains the good things that can come in very small packages. *BMC Biochemistry*, 14(1), 1–2. doi:10.1186/1471-2091-14-29
- Jain, R., Jordan, N., Schild, D., van Hullebusch, E. D., Weiss, S., Franzen, C., Farges, F., Hübner, R., & Lens, P. N. L. (2015). Adsorption of zinc by biogenic elemental selenium nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 260, 855–863. doi:10.1016/j.cej.2014.09.057
- Jiang, C., Wang, X., Wang, G., Hao, C., Li, X., & Li, T. (2019). Adsorption performance of a polysaccharide composite hydrogel based on crosslinked glucan/chitosan for heavy metal ions. *Composites Part B: Engineering*, 169(March), 45–54. doi:10.1016/j.compositesb.2019.03.082
- Kaur, S., & Dhillon, G. S. (2015). Recent trends in biological extraction of chitin from marine shell wastes: A review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(1), 44–61. doi:10.3109/07388551.2013.798256
- Kwok, K. C. M., Koong, L. F., Al Ansari, T., & McKay, G. (2018). Adsorption/desorption of arsenite and arsenate on chitosan and nanochitosan. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), 14734–14742. doi:10.1007/s11356-018-1501-9
- Mudasir Ahmad, Shakeel Ahmed, B. L. S. and S. I. (2015). Chế tạo than hoạt tính từ bã chèn và ứng dụng để hấp phụ thuốc diệt cỏ Bentazon trong môi trường nước. *Tạp Chí Phân Tích Hóa, Lý và Sinh Học*, 20(3), 193–199. doi:10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.2(6).280-89
- Olivera, S., Muralidhara, H. B., Venkatesh, K., Guna, V. K., Gopalakrishna, K., & Kumar K., Y. (2016). Potential applications of cellulose and chitosan nanoparticles/composites in wastewater treatment: A review. *Carbohydrate Polymers*, 153, 600–618. doi:10.1016/j.carbpol.2016.08.017
- Petcu, C., Purcar, V., Radu, A. L., Ianchis, R., Elvira, A., Sarbu, A., Ion-Ebrasu, D., Miron, A. R., Modrojan, C., & Ciobotaru, A. I. (2015). Removal of zinc ions from model wastewater system using bicopolymer membranes with fumed silica. *Journal of Water Process Engineering*, 8, 1–10. doi:10.1016/j.jwpe.2015.08.001
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., Wardani, S., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., & Semarang, U. N. (2018). Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 160–166.
- Prasetyaningrum, A., & Dharmawan, Y. (2018). Aplikasi teknologi elektrokoagulasi pada pengolahan limbah industri elektroplating sebagai upaya menghasilkan produksi kerajinan logam berbasis. *Riptek*, 12(1), 37–44.
- Riswanda, T., Rachmadiarti, F., & Kuntjoro, S. (2014). Pemanfaatan Kitosan Udang Putih (*Lithopannaeus vannamei*) sebagai Bioadsorben Logam berat Timbal (Pb) pada Daging kerang Tahu di Muara Sungai Gunung Anyar Utilization of Chitosan White Shrimp (*Lithopannaeus vannamei*) as Bioadsorben of Heavy metals Le. *Lentera Bio*, Vol.3, 266–271.
- Sahayaraj, K. (2012). *Bionanomaterials: synthesis and applications*. Nsnmrn.

- 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, 204–212. doi:10.1016/j.ijbiomac.2013.03.005
- Supriyantini, E., Yulianto, B., Ridlo, A., Sedjati, S., & Nainggolan, A. C. (2018). Pemanfaatan Chitosan Dari Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(1), 23. doi:10.14710/jkt.v21i1.2399
- Vilar Junior, J. C., Ribeaux, D. R., Alves Da Silva, C. A., & De Campos-Takaki, G. M. (2016). Physicochemical and Antibacterial Properties of Chitosan Extracted from Waste Shrimp Shells. *International Journal of Microbiology*, 2016. doi:10.1155/2016/5127515
- Wan Ngah, W. S., Teong, L. C., & Hanafiah, M. A. K. M. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83(4), 1446–1456. doi:10.1016/j.carbpol.2010.11.004
- Yudhasmita, S., & Puspito Nugroho, A. (2017). Sintesis dan Aplikasi Nanopartikel Kitosan Sebagai Adsorben Cd dan Antibakteri Koliform. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 5(1), 42–48. doi:10.24252/bio.v5i1.3432
- 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. doi:10.1016/j.molliq.2015.12.013