

## Penyisihan logam Cr (VI) dari limbah cair elektroplating menggunakan adsorben *beads* komposit *chitosan-clay*

Putri Fatihah Zuhrah<sup>1)</sup>, Shinta Elystia<sup>2)\*</sup>, Zultiniar<sup>3)</sup>, Dini Aulia Sari Ermal<sup>4)</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Lingkungan, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

<sup>3</sup>Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

<sup>4</sup>Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Riau, Pekanbaru, Indonesia

putrizuhrah@gmail.com; shinta.elystia@lecturer.unri.ac.id\*; zultiniar@lecturer.unri.ac.id

\*Penulis Koresponden

### ABSTRAK

Pencemaran air oleh logam berat merupakan permasalahan serius. Salah satu parameter berbahaya yang mencemari air adalah logam berat yang berasal dari buangan industri logam. Kandungan logam berat ini bersifat berbahaya dan toksik bagi lingkungan. Salah satu alternatif pengolahan yang dapat digunakan adalah proses adsorpsi dengan sistem kolom menggunakan *beads chitosan-clay*. *Chitosan* memiliki gugus amina dan hidroksil yang mampu menyerap kandungan logam berat. Hasil karakterisasi dengan analisa uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*) pada *chitosan* yang dihasilkan penelitian ini terdapat gugus fungsi *chitosan* serta diperoleh nilai DD sebesar 80,97%. Penelitian ini bertujuan untuk menyisihkan kadar Logam Cr (VI) pada limbah cair elektroplating. Variasi yang dilakukan adalah variasi rasio komposisi *beads chitosan-clay* (b/b) (1,5:1), (2:1), (2,5:1) serta laju alir sebesar 3 mL/menit; 3,5 mL/menit; dan 4,5 mL/menit. Hasil uji daya serap air (DSA) yang diperoleh pada setiap variasi *beads chitosan-clay* secara berurut sebesar 609,52%; 628,27%; 658,04%, dan untuk hasil uji kuat tekan didapatkan sebesar 22,491; 10,653; 3,015 Kgf. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu efisiensi penyisihan Logam Cr (VI) terbaik sebesar 95,46% dengan konsentrasi akhir logam Cr (VI) sebesar 1,1566 mg/L pada rasio komposisi *beads chitosan-clay* (2,5:1) (b/b) dan laju alir 3 mL/menit.

**Kata kunci:** Limbah elektroplating, logam berat, adsorpsi, *beads chitosan-clay*, laju alir

### ABSTRACT

*Water pollution by heavy metals is a serious problem. One of the dangerous parameters that contaminate waters is heavy metals that come from metal industrial waste. Electroplating wastewater contains heavy metals that are harmful and toxic to the environment. Alternative treatment that can be used is the adsorption process with a column system using chitosan-clay beads. Chitosan has amine and hydroxyl groups which have ability to absorb heavy metals. The results of the characterization by FTIR (Fourier Transform Infrared) test on chitosan produced contained a chitosan functional group and obtained a DD value of 80.97%. This study aims to remove Cr (VI) in electroplating wastewater. The variations carried out were variations in the ratio of the composition of chitosan-clay beads (w/w) (1.5:1), (2:1), (2.5:1) and a flow rate 3 mL/minute; 3.5 mL/min; and 4.5 mL/min. The results of the water absorption test (DSA) obtained for each variation of chitosan-clay beads were 609.52%; 628.27%; 658.04%, and the results of the compressive strength test are 22.491; 10.653; 3.015 Kgf. The results obtained are the best Cr (VI) removal efficiency of 95.46% with concentration of Cr (VI) 1.1566 mg/L at the ratio of chitosan-clay beads composition (2.5:1) (w/w) and flow rate 3 mL/min.*

**Keywords:** *Electroplating wastewater, heavy metals, adsorption, chitosan-clay beads, flow rate*

diunggah : September 2022, direvisi : Desember 2022, diterima : Desember 2022, dipublikasi : Desember 2022

Copyright (c) 2022 Putri Fatihah Zuhrah, Shinta Elystia, Zultiniar, Dini Aulia Sari Ermal

This is an open access article under the CC-BY license

## PENDAHULUAN

Air limbah industri elektroplating umumnya mengandung berbagai jenis logam berat, salah satunya adalah logam Cr (VI). Limbah cair yang mengandung krom heksavalen (Cr VI) dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan. Krom Heksavalen dalam tubuh mengakibatkan munculnya efek beracun bagi tubuh manusia diantaranya munculnya karsinogenesis, gangguan sistem imun, gangguan sistem syaraf, gangguan dan kerusakan ginjal, dan gangguan sistem pernafasan. Kuantitas limbah yang dihasilkan dalam proses elektroplating tidak terlampau besar, tetapi tingkat toksisitasnya sangat berbahaya (Salimin & Nurifitriyani, 2013). Beberapa metode yang dapat digunakan dalam menurunkan kadar logam berat dalam air antara lain pengendapan kimia, filtrasi mekanik, penukar ion, elektrode posisi, oksidasi-reduksi, sistem membran, dan adsorpsi (Zaini & Sami, 2017).

Proses adsorpsi lebih banyak digunakan dalam pengolahan limbah industri karena lebih praktis dan tidak menimbulkan dampak yang beracun. Umumnya adsorben yang digunakan ialah adsorben yang mengandung polimer alam. Salah satu senyawa polimer alam yang dapat digunakan ialah *chitosan*. *Chitosan* merupakan biopolimer alami yang berasal dari cangkang hewan golongan *Crustacea* Sp. seperti udang, kepiting, rajungan, dan kerang yang memiliki sifat non toksik (Utami et al., 2014). *Chitosan* memiliki gugus hidroksil dan amina sepanjang rantai polimernya, sehingga *chitosan* dapat sangat efektif mengadsorpsi kation ion logam berat maupun kation dari zat – zat organik yaitu lemak dan protein (Pratiwi, 2014). *Chitosan* memiliki stabilitas kimia, reaktivitas yang tinggi, sifat chelation yang tinggi, dan selektivitas yang tinggi terhadap polutan (Sukma et al., 2018).

Walaupun *chitosan* memiliki daya adsorpsi yang besar namun sifat fisiknya kurang baik karena memiliki stabilitas mekanik yang rendah seperti daya mengembang dan daya apung yang tinggi serta memiliki gaya berat yang kecil sehingga *chitosan* kurang maksimal digunakan dalam adsorpsi (dultz, 2006; Wan et al., 2010; Tran dkk., 2013). Sifat *chitosan* yang kurang baik dapat diperbaiki apabila dikompositkan pada permukaan lempung (*clay*). *Clay* merupakan salah satu sumber daya alam yang ketersediaannya sangat melimpah di permukaan bumi dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  sebesar 65,54% dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 18,78% (Darnas & Irsyad, 2013). *Clay* termasuk pada jenis kelompok lapisan mineral aluminasilikat, mengandung struktural gugus hidroksil yang termasuk dalam kelas *phyllosilicates*. Material ini tersusun berlapis-lapis dan membentuk suatu struktur. Pembentukan kerangka struktur molekuler dari penggabungan molekul – molekul tetrahedral membentuk celah dan saluran yang teratur sehingga menyebabkan adanya struktur berpori. Celah yang dihasilkan dari struktur *clay* memungkinkan suatu molekul yang melewatinya dapat terperangkap di dalamnya.

Pemanfaatan *clay* sebagai adsorben sangat tepat karena *clay* memiliki diameter pori yang besar, tingkat porositas cukup besar, stabil secara kimia dan mekanik, kapasitas tukar kation yang tinggi, kelimpahan yang banyak di alam serta relatif murah dibandingkan adsorben lain (Manohar dkk., 2006, Fahmiati, 2011). Pelapisan *chitosan* sebagai lapisan tipis pada *clay* mendukung meningkatnya kemudahan dalam pengikatan dan memperbaiki stabilitas mekanik dari *chitosan* (Wan et al., 2010). Komposit dapat dimodifikasi dalam berbagai bentuk, salah satunya dalam bentuk *beads*. *Beads* adalah mikrokapsul berbentuk sferis yang dibuat sebagai substrat padat. *Beads* adalah salah satu bentuk alternatif yang dapat meningkatkan daya serap air (swelling). Hal tersebut disebabkan karena perbaikan sifat difusi dan hidrodinamisnya.

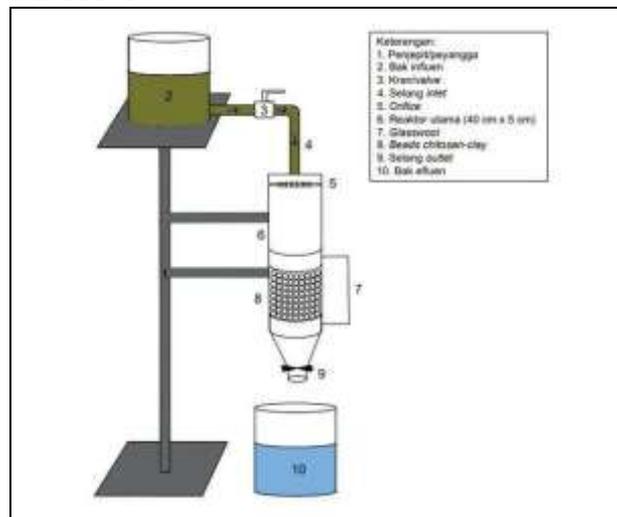
Biswas et al., (2020) melakukan penelitian tentang aplikasi *beads* biokomposit *chitosan-clay* untuk penyisihan logam berat dari limbah industri. Modifikasi *beads chitosan-clay* dilakukan dengan tiga variasi perbandingan *chitosan* (CHT) dan modified *clay* (MC) yaitu (2:1), (1:1), dan (1:2) (b/b) menggunakan sistem batch. Nilai adsorpsi

optimum logam Cr (VI) terjadi pada nilai variasi CHT-MC (2:1) (b/b) dengan efisiensi penyisihan sebesar 50,90%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat dirumuskan beberapa inovasi baru mengenai pemanfaatan *beads* komposit *chitosan-clay* yang diperoleh dari limbah cangkang kulit udang dalam pengolahan limbah cair elektroplating. Pada penelitian ini akan dilakukan penyisihan logam Cr (VI) menggunakan *beads* komposit *chitosan-clay* pada limbah cair elektroplating dengan variasi rasio komposisi *chitosan-clay* (1,5:1), (2:1), dan (2,5:1) (b/b). menggunakan sistem kolom adsorpsi aliran *down-flow* melalui *fixed bed reactor* dengan variasi laju alir (3), (3,5), dan (4,5) ml/menit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dan dapat menghasilkan *beads* dengan karakteristik fisik yang baik agar penggunaan adsorben *beads chitosan-clay* dapat digunakan dalam jangka waktu panjang.

## METODE

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan, terhitung dari bulan April – Juli 2022 di Laboraturium Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Beberapa peralatan yang digunakan yaitu jerigen 10 L sebagai wadah sampel limbah cair, ayakan, timbangan analitik, lumpang (tumbukan), alat gelas, blender, *fixed bed reactor*, *magnetic stirrer with hotplate*, *stop watch*, *stirrer*, pipet tetes, kertas saring *whatman 4.2*, corong, oven, penjepit, pH meter, pompa peristaltik, dan selang silikon diameter 1 mm. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu limbah cair industri elektroplating, cangkang kulit udang, tanah lempung (*clay*), air bersih, *aquades*, NaOH 3,5%, HCl 1 N, HCl 2 M, NaOH 50%, CH<sub>3</sub>COOH 2%, dan TPP 10%.



Gambar 1. Rangkaian alat uji

### Pengambilan Sampel

Limbah cair industri elektroplating dihasilkan dari buangan hasil proses pelapisan logam. Sampel limbah cair industri elektroplating diambil dari salah satu industri yang ada di Kota Pekanbaru. Sampel diambil pada drum plastik yang merupakan tempat penampungan limbah cair yang dihasilkan dari industri tersebut, kemudian sampel dimasukkan kedalam jerigen ukuran 10 L. Pengawetan sampel dilakukan sesuai dengan SNI 6989.59:2008.

### Pembuatan *Chitosan*

Cangkang kulit udang diambil dari rumah makan seafood di pekanbaru, selanjutnya cangkang kulit udang tersebut dicuci dengan air bersih mengalir untuk membersihkan sisa kotoran dan dibilas dengan akuades. Cangkang kulit udang direbus selama 15 menit lalu

dikeringkan menggunakan oven suhu 110-120°C selama kurang lebih 1 jam (Agustina dan Kunarsih, 2013). Cangkang kulit udang yang sudah dioven selanjutnya ditumbuk hingga ukurannya menjadi lebih kecil dan diayak menggunakan ayakan 200 *mesh* sehingga menghasilkan serbuk halus dengan ukuran  $\leq 0,074$  nm. Serbuk cangkang kulit udang yang telah diayak kemudian dilanjutkan dengan proses demineralisasi, deproteinasi dan deasetilasi (Supriyantini *et al*, 2018)

1. Proses Penghilangan Mineral (Demineralisasi): Serbuk cangkang kulit udang ditambahkan larutan HCl 1 N dengan perbandingan 1:7 (b/v). cangkang kulit udang diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm hingga terbentuk busa ( $\pm 30$  menit) lalu dipanaskan pada suhu 80-90°C selama 1 jam. Setelah dipanaskan, serbuk cangkang kulit udang didinginkan dan disaring dengan kertas saring. Padatan hasil saringan dicuci dengan *aquades* hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C hingga berat konstan. Selanjutnya didinginkan pada suhu kamar dan ditimbang berat akhirnya (Supriyantini dkk, 2018). Proses ini menghasilkan padatan berupa serbuk *crude chitin*
2. Proses Penghilangan Protein (Deproteinasi): Produk dari proses demineralisasi ditambahkan NaOH 3,5% dengan perbandingan 1:10 (b/v) sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm dan dipanaskan pada suhu 70-80°C selama 1 jam. Setelah dingin endapan disaring dan dicuci dengan *aquades* sampai pH netral, lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C hingga berat konstan. Selanjutnya endapan didinginkan pada suhu kamar dan ditimbang berat akhirnya, proses ini menghasilkan serbuk *chitin* (Supriyantini dkk, 2018).
3. Proses Deasetilasi: Endapan *chitin* yang diperoleh dari proses deproteinasi dilarutkan dengan NaOH 50% dengan perbandingan 1:15 (b/v) sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 200 rpm dan dipanaskan pada suhu 80-90°C selama 2 jam, selanjutnya didinginkan pada suhu kamar. Endapan disaring, kemudian dicuci dengan *aquades* hingga pH netral, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C hingga berat konstan. Selanjutnya didinginkan pada suhu kamar dan ditimbang berat akhirnya, hasil dari proses ini ialah *chitosan* (Supriyantini dkk, 2018). *Chitosan* yang dihasilkan kemudian akan dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR.

### **Aktivasi Tanah Lempung (*Clay*)**

Tanah lempung (*clay*) diambil dari daerah Kulim, Kota Pekanbaru. *Clay* diambil dengan cara digerus, setelah itu *clay* sebanyak 50 gr direndam dalam larutan HCl 2 M selama 30 menit. Selanjutnya *clay* dicuci dengan *aquades* hingga pH 7. *Clay* dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Tahap selanjutnya *clay* di ayak hingga mendapatkan ukuran 200 *mesh* (Kurniati, 2014).

### **Pembuatan *Beads* Komposit *Chitosan-clay***

*Beads* komposit *chitosan-clay* dengan rasio komposisi (1,5:1) dibuat dengan melarutkan 1,5 gram *chitosan* kedalam 100 ml larutan asam asetat 2%, sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sehingga terbentuk larutan *chitosan* yang berwarna kuning jernih. Kemudian ditambahkan *clay* yang sudah di aktivasi sebanyak 1 gram. Campuran *chitosan-clay* diaduk hingga homogen dan dibiarkan selama 20 jam. Selanjutnya larutan *chitosan-clay* yang sudah homogen diteteskan menggunakan pompa peristaltik yang terhubung dengan selang silikon berukuran 1 mm kedalam larutan TPP 10%. Tetesan larutan *chitosan-clay* kedalam larutan NaOH dan etanol akan membentuk *beads chitosan-clay*. *Beads* yang terbentuk disaring dan dinetralkan sampai pH konstan kemudian dikeringkan pada suhu kamar selama 24 jam (Biswas, 2020). Prosedur yang sama juga diterapkan untuk pembuatan *beads* komposit *chitosan-clay* dengan rasio massa (2:1) dan (2,5:1) (b/b).

### Karakterisasi *Beads* Komposit *Chitosan-clay*.

1. Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*): Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari *chitosan*. Setiap ikatan mempunyai frekuensi vibrasi yang khas sehingga adsorpsi inframerah dapat digunakan untuk identifikasi gugus-gugus yang ada dalam suatu senyawa. Pengukuran dilakukan pada spektrum inframerah daerah tengah yaitu pada bilangan gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ . Data yang diperoleh dibandingkan dengan data pada literatur yang telah ada untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada bahan.
2. Uji Daya Serap Air (*Swelling*): Pengujian daya serap air dilakukan untuk menentukan kapasitas air yang dapat diserap oleh *beads*. Standar uji daya serap air adalah ASTM D570-98. Uji Daya Serap Air dilakukan menggunakan *aquadest*. *Beads* diambil dalam keadaan kering kemudian ditimbang dan dicatat sebagai berat *beads* kering ( $W_0$ ). *Beads* dimasukkan ke dalam gelas kimia ukuran 50 mL yang berisi akuades selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah 24 jam, *beads* ditimbang hingga massa konstan ( $W_1$ ) (Mahendra, 2016). Besarnya daya serap air dihitung dengan persamaan:

$$\%DSA = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Dimana:

$W_0$  = Berat *beads* kering (gr)

$W_1$  = Berat *beads* basah (gr)

3. Uji Kekuatan Mekanik: Pengujian kuat mekanik pada *beads* komposit *chitosan-clay* meliputi uji kuat tekan dengan menggunakan *Texture Analyzer* (CT3 Brookfield) dan pengukuran dilakukan menggunakan jarum probe dengan diameter 3,5 mm. Pengujian *beads* komposit *chitosan-clay* dilakukan dengan jarak pengukuran disesuaikan dengan dimensi sampel terhadap bagian atas alat penekan sampel (Rajmohan dkk., 2019).

### Perlakuan Penelitian

Sebanyak 525 ml sampel air limbah cair elektroplating dialirkan kedalam fixed bed reactor dengan sistem aliran downflow yang berisi *beads chitosan-clay* hasil pengolahan limbah cangkang kulit udang dengan variasi rasio komposisi *beads* komposit *chitosan-clay* (1,5:1), (2:1), dan (2,5:1) (b/b). Sampel dialirkan dengan variasi laju alir (3), (3,5), dan (4,5) ml/menit. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kromium heksavalen (Cr VI). Analisa parameter yang diuji dilakukan menggunakan metode yang mengacu pada SNI 6989.53:2010. Setelah dilakukan percobaan utama, dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan yang diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{C_{in} - C_{ef}}{C_{in}} \times 100\%$$

Dimana:

$C_{in}$ : Konsentrasi Influen logam (mg/L)

$C_{ef}$ : Konsentrasi Efluen logam (mg/L)

Setelah dilakukan pengukuran sampel maka didapatkan nilai efisiensi penyisihan dan laju alir terbaik. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, maka dapat diketahui bagaimana pengaruh rasio komposisi *beads* komposit *chitosan-clay* dan laju alir terhadap proses adsorpsi dan dapat diketahui rasio komposisi *beads* komposit *chitosan-clay* dan laju alir terbaik dalam penelitian ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Limbah Cair Elektroplating

Penelitian ini menggunakan limbah cair elektroplating X di Pekanbaru, Riau. Limbah elektroplating diuji oleh UPT Laboratorium Kesehatan dan Lingkungan Pekanbaru. Adapun hasil uji kandungan logam Cr (VI) dalam limbah industri elektroplating X adalah sebesar 25,4919 mg/L. Nilai ini melebihi dari baku mutu yang telah ditetapkan dalam Permen LH No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, dimana baku mutu logam Cr (VI) bagi usaha dan/atau kegiatan industri pelapisan logam dan galvanis adalah sebesar 0,1 mg/L.

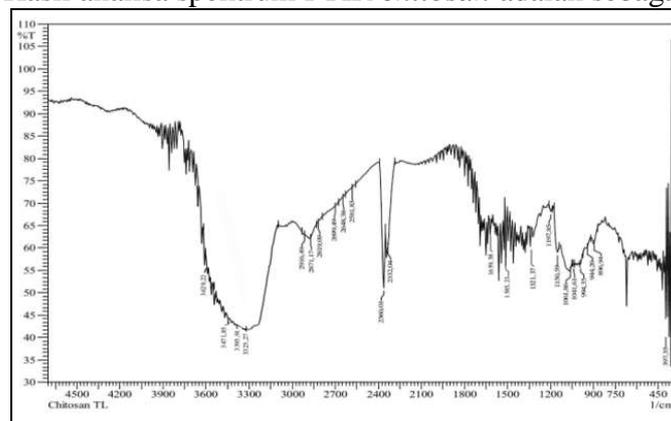
### Sintesis *Chitosan*

Penelitian ini menghasilkan serbuk *chitosan* yang berasal dari kulit udang. Karakteristik fisik *chitosan* yang dihasilkan memiliki tekstur serbuk ( $\leq 200$  mesh), tidak berbau dan berwarna putih tulang. Hasil ini sesuai dengan penelitian (Agustina & Kurniasih, 2013) bahwa *chitosan* yang dihasilkan berbentuk serbuk dan berwarna putih. *Chitosan* diperoleh melalui proses deasetilasi *chitin*.



**Gambar 2. Hasil sintesis: (a) Chitin dan (b) Chitosan**

Serbuk *chitosan* yang terbentuk diidentifikasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Tujuan dari karakterisasi menggunakan instrumen FTIR ialah untuk mengetahui apakah gugus-gugus fungsional *chitosan* yang dihasilkan dalam penelitian ini sesuai dengan senyawa pembentuk *chitosan* yang telah ditetapkan pada penelitian Dompeipen (2017). Hasil analisa spektrum FTIR *chitosan* adalah sebagai berikut.



**Gambar 3. Hasil analisa FTIR *chitosan***

Data spektrum FTIR *chitosan* memberikan informasi sejumlah pita serapan utama dari menunjukkan gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam *chitosan*. Spektrum utama pada daerah panjang gelombang tertentu menunjukkan adanya gugus fungsi utama yang mengindikasikan bahwa senyawa hasil reaksi deasetilasi dalam penelitian ini adalah *chitosan*. Data mengenai gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam *chitosan* terdapat pada tabel berikut.

**Tabel 1. Perbandingan spektrum FTIR chitosan dengan chitosan standar**

| No  | Gugus Fungsi                         | Bilangan Gelombang                     |                                |
|-----|--------------------------------------|--|--------------------------------|
|     |                                      | <i>Chitosan Standar</i> <sup>(1)</sup> | <i>Chitosan</i> <sup>(2)</sup> |
| 1.  | (vb) O – H tumpang tindih (vs) N – H | 3377,95                                | 3325,57                        |
| 2.  | (vb) C – H alifatik                  | 2922,85                                | 2916,49                        |
| 3.  | (vs) C – H alifatik                  | 2922,85                                | 2871,17                        |
| 4.  | (vs) C – H aromatic                  | 2361,41                                | 2360,01                        |
| 5.  | (v) C = O [amida sekunder]           | 1660,55                                | 1659,58                        |
| 6.  | (v) C = O [proitense amina sekunder] | 1587,94                                | 1585,23                        |
| 7.  | (v) C – H                            | 1422,73                                | 1321,37                        |
| 8.  | (vs) C – O                           | 1259,54                                | 1197,85                        |
| 9.  | (vs) C – O                           | 1154,64                                | 1150,59                        |
| 10. | v (C - O -C)                         | 1077,93                                | 1061,86                        |
| 11. | v (C - O -C)                         | 1026,63                                | 1041,61                        |
| 12. | $\Omega\beta$ - 1,4 – glikosidik     | 897,41                                 | 896,94                         |

Sumber: (1) Dompeipen, 2017

(2) Hasil Analisa FTIR, 2022

Berdasarkan Tabel 1. dapat dilihat bahwa serapan tertinggi terdapat pada bilangan gelombang 3325,57  $\text{cm}^{-1}$  yang menandakan adanya tumpang tindih gugus fungsi –OH yang menunjukkan getaran tekuk N-H dari amina yaitu ( $\text{NH}_2$ ). Gugus fungsi ini adalah gugus fungsi khas yang dimiliki oleh rantai polimer *chitosan*. Selain itu terdapat juga serapan pada bilangan gelombang 2871,17  $\text{cm}^{-1}$  mengindikasikan gugus C-H dari alkena yaitu menunjukkan vibrasi ulur dari gugus  $-\text{CH}_2-$ . Pita serapan pada bilangan gelombang 1197,85 dan 1150,59  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur gugus C-O.

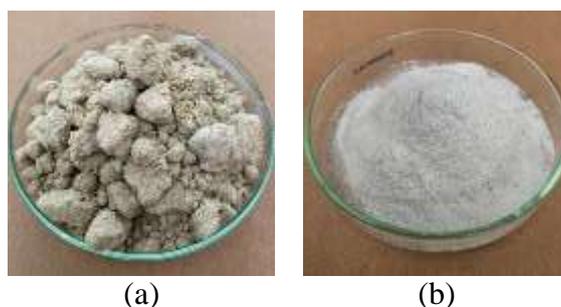
Secara keseluruhan hasil tabel tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua spektrum. Adanya spektrum utama pada daerah panjang gelombang tertentu menunjukkan adanya gugus fungsi utama yang mengindikasikan bahwa senyawa hasil reaksi deasetilasi mengandung gugus-gugus pembentuk *chitosan* dan secara pola serapan sudah sesuai literatur penelitian yang dilakukan oleh Dompeipen et al (2017).

Melalui spektrum *chitosan*, maka dapat ditentukan derajat deasetilasi dari senyawa tersebut menggunakan metode *baseline* (Khan et al., 2002). Perhitungan nilai derajat deasetilasi berdasarkan perbandingan nilai absorbansi pita serapan dari spektrum bilangan gelombang 1655  $\text{cm}^{-1}$  dan bilangan gelombang 3450  $\text{cm}^{-1}$ . Pada hasil uji FTIR ini didapatkan nilai derajat deasetilasi *chitosan* sebesar 80,96%. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian (Azizati, 2019) sebesar 76,25%. Duarte. dkk, (2002) menyatakan bahwa apabila derajat deasetilasi >50% maka polimer tersebut disebut *chitosan*. Oleh karena itu *chitosan* yang dihasilkan sesuai dan dapat dikatakan sebagai *chitosan*.

*Chitosan* telah terdeasetilasi secara sempurna jika derajat deasetilasi >90% (Srijanto, 2003). *Chitosan* yang memiliki derajat deasetilasi rendah dapat digunakan tergantung pada pengaplikasiannya. Menurut Asni et al., (2014) *chitosan* yang memiliki derajat deasetilasi lebih dari 60% dapat digunakan sebagai adsorben.

### Aktivasi Clay

Pada penelitian ini *clay* akan dimanfaatkan sebagai komposit terhadap *chitosan*. *Clay* yang digunakan berasal dari daerah Kulim, Pekanbaru. Penggunaan *clay* sebagai komposit pada *chitosan* membutuhkan proses pendahuluan yaitu proses aktivasi. Proses ini bertujuan untuk memperbesar pori dengan cara mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga adsorben mengalami perubahan fisik yaitu luas permukaan bertambah dan perubahan kimia berupa gugus fungsi hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) yang berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Hasil perbandingan *clay* sebelum dan setelah diaktivasi dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 4. Hasil clay (a) Sebelum diaktivasi (b) Setelah diaktivasi**

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa terdapat perubahan bentuk *clay* sebelum dan sesudah aktivasi. *Clay* yang belum diaktivasi memiliki warna yang lebih coklat dibandingkan dengan *clay* yang telah mengalami proses aktivasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Sadiana et al., (2018) dimana penggunaan HCl sebagai larutan aktivasi ditujukan untuk melarutkan pengotor sehingga luas permukaan spesifik *clay* menjadi meningkat dan menghasilkan *clay* berwarna putih

### **Sintesis Beads Chitosan-clay**

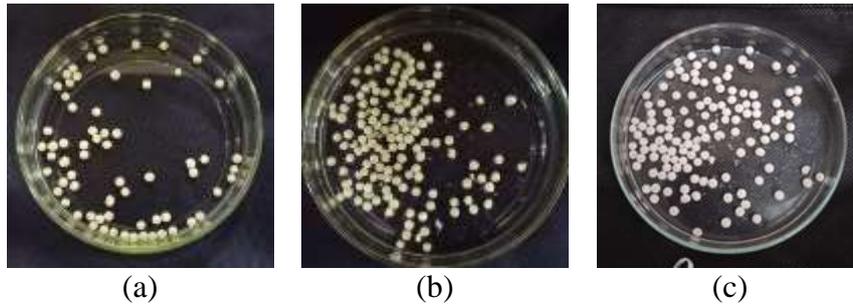
Sintesis *beads komposit chitosan-clay* dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama adalah pelarutan *chitosan-clay*. Mula-mula serbuk *chitosan* dilarutkan ke dalam larutan asam asetat. Molekul dalam larutan asam asetat akan berdifusi melewati matriks polimer *chitosan* dan membentuk massa mengembang dan tersolvasi membentuk gel, gel tersebut kemudian dengan cepat akan pecah dan membentuk larutan kental *chitosan* (Ariyani et al., 2018)

Larutan *chitosan-clay* dibuat dengan berbagai perbandingan komposisi (b/b) yaitu (1,5:1), (2:1), dan (2,5:1). Perbandingan komposisi *chitosan* dan *clay* dilakukan untuk mempelajari pengaruh perbedaan komposisi tersebut terhadap penyisihan logam berat, kekuatan tekan dan daya serap air dari *beads*. Setelah larutan *chitosan* homogen selanjutnya ditambahkan serbuk *clay*. Larutan *chitosan-clay* diaduk secara merata untuk mengontakkan kedua adsorben sehingga terbentuk campuran yang homogen (Shofiyani, 2018). Variasi massa *chitosan* mempengaruhi kekentalan dari larutan *chitosan-clay*, semakin besar massa *chitosan* maka semakin bertambah kekentalan larutan tersebut.

Selanjutnya larutan *chitosan-clay* dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu pembuatan *beads komposit chitosan-clay*. Larutan *chitosan-clay* diteteskan kedalam larutan TPP 10% menggunakan pompa peristaltik dengan diameter selang 1 mm. Penetasan larutan *chitosan-clay* dalam larutan TPP menghasilkan *beads* dengan bentuk bulat sferis dan berwarna putih. TPP yang dilarutkan ke dalam air memiliki pH basa (pH 8,6). Kondisi pH basa memiliki jumlah ion  $\text{OH}^-$  dan ion  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$  yang tinggi. Ion  $\text{OH}^-$  dan  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$  akan bersaing secara ionik dalam mengikat gugus amina ( $\text{NH}_3^+$ ) pada *chitosan* (Lusiana & Pranotoningtyas, 2018).

Pada proses penetasan larutan *chitosan-clay* dalam larutan TPP, ion  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$  bersaing dengan ion  $\text{OH}^-$  dimana ion  $\text{OH}^-$  lebih terdifusi kedalam tetesan *chitosan-clay* karena ukuran ion yang lebih kecil dari pada ion  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ . Ion  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$  tertahan di luar tetesan *chitosan* dan berinteraksi dengan gugus  $\text{NH}_2$  *chitosan*, sehingga akan terbentuk lapisan *coacervation* atau lapisan gelasi ionik (Mohanraj & Chen, 2006). Seiring berjalannya waktu, ion  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$  akan berdifusi kedalam tetesan *chitosan-clay* dan membentuk butiran *chitosan-clay*.

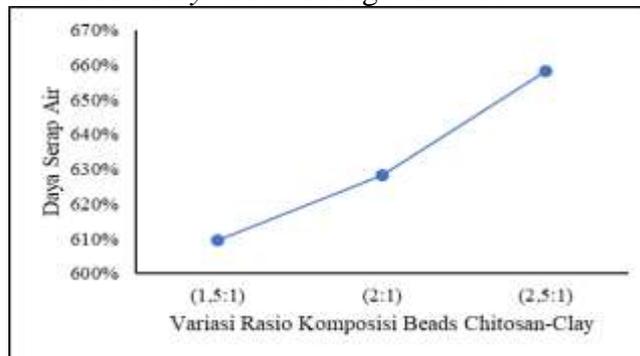
Proses pembentukan *chitosan-clay* oleh TPP menghasilkan butiran *chitosan* yang berbentuk bulat sferis berwarna putih. Perbedaan *beads* yang dihasilkan dari setiap variasi larutan *chitosan-clay* dapat dilihat dari gambar berikut.



**Gambar 5. Beads komposit *chitosan-clay* dalam berbagai variasi (b/b): (a) 1,5:1 (b) 2:1 dan (c) 2,5:1**

### **Karakterisasi Daya Serap Air pada *Beads* Komposit *Chitosan-clay***

*Chitosan* memiliki daya serap air yang besar dikarenakan rantai utama *chitosan* yang terdiri dari amina primer. Amina primer pada *chitosan* mudah terprotonasi (mengikat  $H^+$ ). *Chitosan* dan *clay* juga memiliki gugus hidroksil (-OH) yang mudah mengikat atom H pada molekul air. Gugus amina dan hidroksil ini memberikan sifat hidrofilik atau kemampuan untuk menyerap air (Gunawan dkk, 2017). Adapun persentase daya serap air pada masing-masing variasi *beads* komposit *chitosan-clay* adalah sebagai berikut.

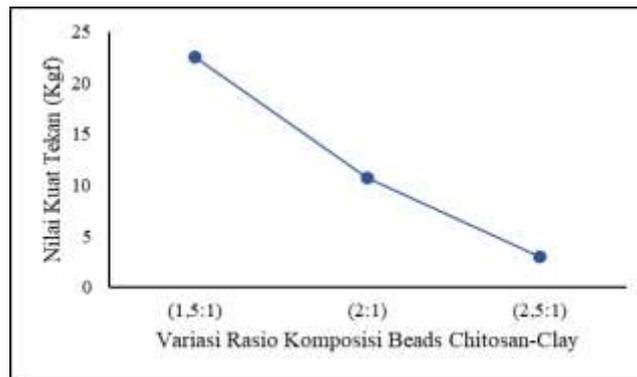


**Gambar 6. Grafik pengaruh rasio komposisi *chitosan-clay* terhadap daya serap air**

Berdasarkan grafik Gambar 6 dapat dilihat bahwa daya serap air meningkat seiring dengan penambahan massa *chitosan* pada rasio komposisi *beads* komposit *chitosan-clay*. Nilai daya serap air dari masing-masing variasi *beads* secara berurutan adalah 609,52%; 628,27%; dan 658,04%. Variasi *beads* komposit *chitosan-clay* dengan daya serap air tertinggi ada pada variasi rasio (2,5:1) (b/b) dengan nilai daya serap air 658,04%, dimana variasi ini memiliki komposisi *chitosan* terbesar dibandingkan variasi lainnya. Hal ini terjadi karena *chitosan* memiliki sifat hidrofilik atau suka dengan air sehingga semakin besar komposisi *chitosan* maka semakin besar juga daya serap air nya.

### **Karakterisasi Uji Kuat Tekan Pada *Beads* Komposit *Chitosan-clay***

Pengujian kuat tekan pada *beads chitosan-clay* dengan variasi (1,5:1), (2:1), dan (2,5:1) (b/b) bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dari *beads* yang diperoleh dalam penelitian ini. Hasil uji kuat tekan terdapat pada gambar berikut.



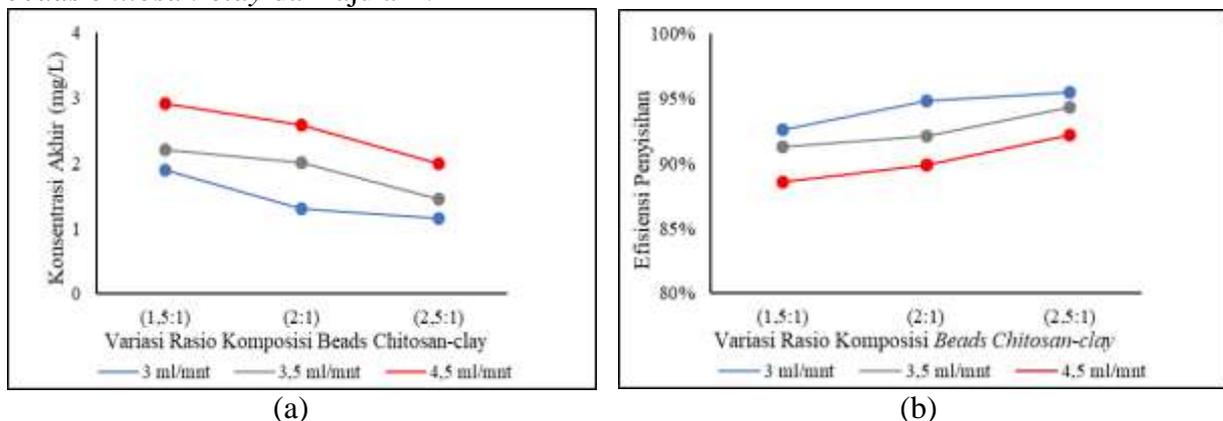
**Gambar 7. Grafik pengaruh rasio komposisi *chitosan-clay* terhadap kekuatan tekan**

Nilai kuat tekan yang diperoleh dari setiap variasi yaitu 22,491; 10,653; 3,015 Kgf. Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan menurun seiring dengan penambahan rasio komposisi *chitosan-clay*. Nilai kuat tekan tertinggi dimiliki oleh rasio komposisi *beads chitosan-clay* (1:5) sebesar 22,491 Kgf, sedangkan untuk nilai kuat tekan terendah terdapat pada rasio komposisi *beads chitosan-clay* (2,5:1) sebesar 3,015 Kgf. Hal ini terjadi karena semakin banyak komposisi *chitosan* pada rasio perbandingan *chitosan-clay*, maka semakin menurun nilai kuat tekan *beads*. Hal ini didasari oleh sifat *chitosan* yang mudah mengikat air sehingga mengurangi nilai kuat tekan dari *beads* tersebut (Munawwaroh, 2019)

Secara keseluruhan nilai kuat tekan yang diperoleh untuk semua variasi rasio komposisi *beads chitosan-clay* sudah memenuhi standar kekerasan suatu komposit skala mikro yaitu 3-30 Kgf (Munawwaroh, 2019).

#### **Efisiensi Penyisihan Menggunakan Beads Chitosan-clay**

Penelitian ini menggunakan limbah cair industri elektroplating sebanyak 525 ml dengan konsentrasi awal logam Cr (VI) 25,4919 mg/L dan massa adsorben *beads chitosan-clay* sebanyak 380 g/L. Variasi pada penelitian ini yaitu variasi rasio komposisi *beads chitosan-clay* (1,5:1), (2:1), (2,5:1) (b/b) dan laju alir (3 mL/menit, 3,5 mL/menit, 4,5 mL/menit). Berikut grafik hasil penyisihan logam Cr (VI) yang dipengaruhi rasio komposisi *beads chitosan-clay* dan laju alir.



**Gambar 8. Grafik nilai (a) Konsentrasi akhir pada penyisihan Cr (VI) (b) Efisiensi penyisihan Cr (VI)**

Pada Gambar 8 menunjukkan hubungan antara rasio komposisi *beads chitosan-clay* dengan laju alir terhadap penyisihan kadar logam Cr (VI). Rasio komposisi *beads chitosan-clay* (2,5:1) memiliki efisiensi penyisihan tertinggi pada laju alir 3 mL/menit dengan konsentrasi logam Cr (VI) 1,1566 mg/L dan besar efisiensi penyisihan sebesar 95,46%. Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada rasio komposisi *beads chitosan-clay* (1,5:1) laju

alir 4,5 mL/menit dengan konsentrasi logam Cr (VI) sebesar 2,9119 mg/L dan efisiensi penyisihan sebesar 88,55%.

### Pengaruh Rasio Komposisi Beads Chitosan – Clay Terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Cr (VI) pada Limbah Cair Elektrolating

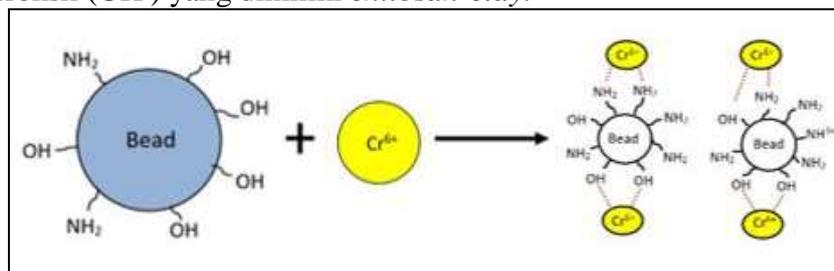
Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa rasio komposisi *beads chitosan-clay* mempengaruhi penyisihan logam Cr (VI). Efisiensi terbaik yang diperoleh sebesar 95,46% pada penggunaan rasio komposisi *beads chitosan-clay* (2,5:1) (b/b) dengan konsentrasi awal logam Cr (VI) sebesar 25,4919 mg/L dan konsentrasi akhir logam Cr (VI) 1,1566 mg/L. Efisiensi terendah yang diperoleh sebesar 88,55% pada penggunaan rasio komposisi *beads chitosan-clay* (1,5:1) (b/b) dengan dengan konsentrasi awal logam Cr (VI) sebesar 25,4919 mg/L dan konsentrasi akhir logam Cr (VI) 2,9119 mg/L.

Rasio komposisi *beads chitosan-clay* sangat mempengaruhi proses penyisihan logam Cr (VI), dimana pada penelitian ini efisiensi tertinggi diperoleh pada rasio *beads chitosan-clay* (2,5:1) (b/b). Tingginya efisiensi penyisihan logam Cr (VI) terjadi karena kandungan gugus amina ( $\text{NH}_2$ ) dan hidroksil (OH) pada *chitosan*, dimana *beads* dengan massa *chitosan-clay* tertinggi memiliki lebih banyak gugus fungsi amina ( $\text{NH}_2$ ) dan hidroksil (OH) yang mampu menjerap logam Cr (VI) lebih banyak dibandingkan variasi lainnya (Tanheitafino, 2016).

Hasil penyisihan terbaik dalam penelitian ini sesuai dengan penelitian (Biswas et al., 2020) yang menyatakan bahwa efisiensi terbaik penyisihan logam Cr (VI) diperoleh pada penggunaan *beads chitosan – clay* variasi tertinggi yaitu (2:1) (b/b) dengan nilai efisiensi sebesar 50,90%. Efisiensi yang tinggi terjadi karena variasi tersebut memiliki massa *chitosan* terbanyak dibandingkan variasi lainnya. Interaksi antara gugus amina dan hidroksil pada *chitosan* mampu menyerap logam sehingga semakin tinggi massa *chitosan* maka semakin banyak logam Cr (VI) yang terserap (Biswas et al., 2020).

Efisiensi terendah pada penelitian ini didapat pada rasio komposisi *beads chitosan-clay* (1,5:1) (b/b). Hal ini terjadi karena rasio komposisi *beads chitosan-clay* (1,5:1) (b/b) adalah variasi dengan rasio terkecil pada penelitian ini. Keberadaan *clay* membuat daya serap air berkurang sehingga logam Cr (VI) yang dapat terserap tidak maksimal. Menurut (Tanheitafino, 2016), rasio yang kecil antara *chitosan* dan *clay* menyebabkan penyerapan logam Cr (VI) yang rendah. Hal ini terjadi karena jumlah gugus aktif *clay* semakin bertambah dan mulai bersaing dengan gugus aktif *chitosan* untuk berperan dalam mengikat ion Cr (VI), sehingga gugus aktif *chitosan* yang seharusnya dapat mengadsorpsi lebih banyak dari gugus aktif *clay* mulai terhalangi dan menyebabkan penyerapan logam Cr (VI) yang terjadi rendah.

Kemampuan *beads chitosan-clay* dalam menyisihkan Logam Cr (VI) juga dipengaruhi oleh nilai daya serap air. Semakin tinggi daya serap air *beads* maka semakin besar kemampuan *beads* dalam menyerap larutan limbah yang melewatinya. Hal ini menyebabkan semakin banyak pula logam Cr (VI) yang dijerap oleh gugus fungsi amina ( $\text{NH}_2$ ) dan hidroksil (OH) yang dimiliki *chitosan-clay*.



Gambar 9. Reaksi antara logam Cr (VI) dan adsorben *beads chitosan-clay*

Pada Gambar 9 menunjukkan mekanisme terjadinya pengikatan logam Cr (VI) oleh *chitosan*. Pengikatan Logam Cr (VI) disebabkan oleh gugus aktif yang dimiliki *chitosan* yaitu gugus amina ( $\text{NH}_2$ ) dan gugus hidroksil (OH) pada rantai polimer *chitosan* yang mampu menjerap kation ion logam berat (Supriyantini et al., 2018). Interaksi antara ion logam dengan *chitosan* terjadi melalui pembentukan *chelate* atau ikatan koordinasi oleh atom N gugus amina ( $\text{NH}_2$ ) dan atom O gugus hidroksil (OH). Pasangan elektron bebas pada oksigen dan nitrogen pada struktur molekul *chitosan* menjadikan *chitosan* berperan sebagai donor pasangan elektron bebas (basa lewis) dan ion logam sebagai reseptor pasangan elektron bebas (asam lewis). Ikatan yang terjadi antara *chitosan* dan ion logam Cr (VI) adalah ikatan kovalen koordinasi (Agustina & Kurniasih, 2013).

*Beads* yang sudah berkontak dengan limbah elektroplating akan berubah warna menjadi kuning. Hal ini disebabkan oleh warna larutan limbah elektroplating yang semula berwarna kuning pekat.

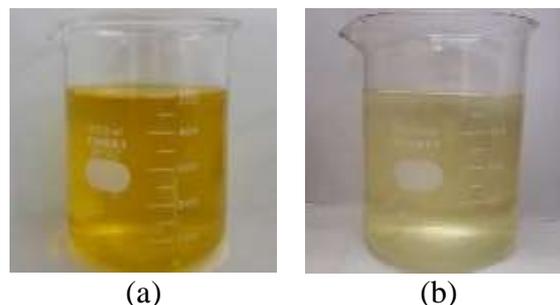


**Gambar 10. Warna *beads* (a) Sebelum adsorpsi (b) Setelah adsorpsi**

### **Pengaruh Laju Alir Terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Cr (VI) pada Limbah Cair Elektroplating**

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa laju alir mempengaruhi penyisihan Logam Cr (VI), dimana efisiensi penyisihan semakin menurun seiring meningkatnya laju alir. Efisiensi terbaik didapatkan pada penggunaan laju alir 3 mL/menit dengan waktu detensi 180 menit, efisiensi penyisihan yang diperoleh sebesar 95,46% dengan konsentrasi awal Logam Cr (VI) sebesar 25,4919 mg/L dan konsentrasi akhir Logam Cr (VI) 1,1566 mg/L. Selanjutnya untuk efisiensi terendah didapatkan pada penggunaan laju alir 4,5 mL/menit dengan waktu detensi 120 menit, efisiensi penyisihan yang diperoleh sebesar 88,55% dengan konsentrasi awal logam Cr (VI) sebesar 25,4919 mg/L dan konsentrasi akhir logam Cr (VI) 2,9119 mg/L.

Laju alir merupakan parameter penting sebagai penggambaran waktu kontak larutan dengan adsorben pada kolom adsorpsi. Pada penelitian ini, adsorpsi logam Cr (VI) memiliki efisiensi terbesar pada laju aliran lambat. Menurut Kristianingrum et al., (2020) hal ini berkaitan dengan lamanya waktu kontak antara adsorben dengan larutan limbah. Semakin lama larutan limbah yang berada pada kolom dan kontak dengan adsorben, maka semakin efektif penurunan konsentrasi logam berat yang terkandung di dalam air limbah. Hal ini menjadikan semakin banyaknya peluang untuk terjadinya ikatan dengan gugus aktif adsorben.



**Gambar 11. Limbah elektroplating (a) Sebelum diolah dan (b) Setelah diolah**

Sebaliknya, peningkatan laju alir akan menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan logam Cr (VI). Pada penelitian ini, efisiensi terendah diperoleh pada laju alir 4,5 mL/menit. Hal ini dikarenakan pada laju alir yang tinggi waktu kontak limbah elektroplating dengan adsorben tidak efektif untuk menyisihkan ion logam karena larutan akan meninggalkan kolom sebelum kesetimbangan tercapai, sehingga diperoleh konsentrasi larutan efluen yang masih tinggi (Tangio, 2013). Laju alir yang tinggi menyebabkan terbatasnya intraksi antara pori *beads* dengan larutan yang masuk sehingga diperoleh efisiensi yang rendah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengolahan limbah elektroplating menggunakan variasi rasio komposisi *beads chitosan-clay* dan laju alir secara keseluruhan belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh PERMEN LH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Industri Pelapisan Logam Dan Galvanis. Hal ini terjadi karena sampel limbah cair elektroplating mengandung berbagai macam ion didalamnya (ion multikomponen), baik berupa kation maupun anion sehingga proses yang terjadi lebih rumit dan kesempatan untuk terjadinya intervensi dalam proses adsorpsi masing-masing kation sangat tinggi, sehingga kation pada ion logam yang terserap tidak seluruhnya logam Cr (VI) tetapi ion logam lainnya ikut terserap (Elystia et al., 2021). Proses adsorpsi menggunakan *chitosan* pada pengolahan limbah cair elektroplating membuktikan bahwa proses adsorpsi tidak hanya terjadi untuk penyerapan logam berat Cr (VI) tetapi juga terjadi penyerapan logam berat lainnya seperti Cr total dan Nikel (Elystia et al., 2021).

## SIMPULAN

Hasil karakterisasi instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada *chitosan* hasil penelitian ini menampilkan gugus fungsi yang sesuai dengan *chitosan* standar serta diperoleh nilai DD sebesar 80,97%. Hasil uji daya serap air (DSA) terbaik didapatkan sebesar 658,04% pada rasio komposisi *beads chitosan-clay* (2,5:1), dan untuk hasil uji kuat tekan terbaik didapatkan sebesar 22,491 Kgf pada rasio komposisi *beads chitosan-clay* (1,5:1). Berdasarkan nilai DSA dan kuat tekan diketahui bahwa penambahan *chitosan* pada *beads chitosan-clay* memperbesar nilai daya serap air dan menyebabkan penurunan nilai kuat tekan *beads*. Proses penyisihan logam Cr (VI) pada limbah cair industri elektroplating menghasilkan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 95,46% pada laju alir 3 mL/menit dan waktu detensi 180 menit, sedangkan efisiensi penyisihan terendah yaitu sebesar 88,55 % pada dengan laju alir 4,5 mL/menit dan waktu detensi 120 menit. Konsentrasi akhir yang diperoleh untuk logam berat Cr (VI) yaitu 1,1566 mg/L. Hasil konsentrasi akhir tersebut tidak memenuhi standar baku mutu Permen LH No.5 Tahun 2014.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., & Kurniasih IKIP Mataram, Y. (2013). Pembuatan Kitosan Dari Cangkang Udang Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Logam Cu. In *Seminar Nasional FMIPA UNDIKSHA III*.
- Ariyani, D., Cahaya, N., & Mujiyanti, D. R. (2018). Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Zn (II) pada Komposit Arang Eceng Gondok Termodifikasi Kitosan-Epiklorohidrin. In *Jurnal Kimia Valensi*, 4(2), 85–92.
- Asni, N., Saadilah, ; M Arif, & Saleh, ; Djonaedi. (2014). Optimalisasi Sintesis Kitosan Dari Cangkang Kepiting Sebagai Adsorben Logam Berat Pb (Ii). In *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* (Vol. 15, Issue 1).
- Azizati, Z. (2019). Pembuatan Dan Karakterisasi Kitosan Kulit Udang Galah. In *Journal of Chemistry*, 2(1), 10-16.

- Biswas, S., Rashid, T. U., Debnath, T., Haque, P., & Rahman, M. M. (2020). Application of chitosan-clay biocomposite beads for removal of heavy metal and dye from industrial effluent. *Journal of Composites Science*, 4(1).
- Darnas, Y., & Irsyad, M. (2013). *Ekstraksi Aluminium Dari Tanah Lempung Gambut Sebagai Koagulan Cair*.
- Dompeipen, E. J. 2017. *Isolation and Identification of Chitin and Chitosan From Windu Shrimp (Penaeus monodon) With Infrared Spectroscopy*. *Majalah BIAM*, 13(01): 31-41.
- Duarte, M., Ferreira, M., Marvão, M., Rocha, J. (2002). An optimized method to determine the degree of acetylation of chitin and chitosan by FTIR spectroscopy. *Int J Biol Macromol*. 31: 1–8.
- Elystia, S., Geishy Karamy, A., Studi Teknik Lingkungan, P., Teknik, F., Riau Kampus Bina Widya Jl Soebrantas Km, U. H., & Baru, S. (2021). Penyisihan Logam Cr (VI) dari Limbah Cair Elektroplating Menggunakan Mikroalga *Chlorella* sp. dengan Variasi Penambahan External-Glutathione. *Serambi Engineering*, VI(1).
- Fahmiati. (2011). Sintesis dan Karakterisasi Adsorben Lempung Terimpregnasi Oleh 3-merkupto-1,2,4-triazol (trzsh) (Vol. 1, Issue 2).
- Khan, Ahmad T., Khiang Peh, K., & Seng Ch, H. (2002). Reporting degree of deacetylation values of chitosan: the influence of analytical methods. In *J Pharm Pharmaceut Sci*. 5 (3).
- Kristianingrum, S., Fillaeli, A., Dwi Siswani, E., & Hasna Nafiisah, N. (2020). Aplikasi Sistem Kontinyu Menggunakan Karbon Aktif Untuk Penurunan Kadar Logam Cu Dan Zn Dalam Air Limbah Application Of Continuous System Using Activated Carbon For Reducing Zn And Cu In Wastewater. In *J. Sains*. (Vol. 2020, Issue 9).
- Lusiana, R. A., & Pranotonytyas, W. P. (2018). Membran Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat-Heparin Dan Aplikasinya Pada Permeasi Urea Dan Kreatinin. In *Analit: Analytical and Environmental Chemistry* (Vol. 3, Issue 01).
- Mohanraj, V. J., & Chen, Y. (2006). Nanoparticles-A Review. In *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* (Vol. 5, Issue 1).
- Munawwaroh, Miftahul J. (2019). *Sintesis Dan Karakterisasi Beads Alginat-Karboksimetil Selulosa Dari Batang Jagung Menggunakan Variasi CaCl<sub>2</sub>*. Skripsi. Malang. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Sadiana, I. M., Karelius, K., Agnestisia, R., & Fatah, A. H. (2018). Studies on Synthesis, Characterization, and Adsorption of Cationic Dyes from Aqueous Solutions Using Magnetic Composite Material from Natural Clay in Central Kalimantan, Indonesia. *Molekul*, 13(1), 63.
- Salimin, Z., & Nurifitriyani, I. (2013). Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Flokulasi (Vol. 3, Issue 1).
- Shofiyani, A. (2018). Pengaruh Komposisi Berat Kitosan-Zeolit Terhadap Stabilitas Fisiko-Kimia Komposit Yang Dihasilkan. 7(1), 66–72.
- Srijanto, B., (2003). Kajian Pengembangan Teknologi Proses Produksi Kitin dan Kitosan secara Kimiawi. *Prosiding Semnas Teknik Kimia Indonesia*. 1 (1-5).
- 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.

- Tangio, J. S. (2013). Adsorpsi logam timbal (Pb) Dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Entropi*, 8(1).
- Tanheitafino, S., Zaharah, T. A., dan Destiarti, L., (2016), Modifikasi Kitosan dengan Kaolin dan Aplikasinya sebagai Adsorben Timbal (II). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(2), 33-42.
- Tri Utami, R., Sri Sedjati Program Studi Ilmu Kelautan, dan, & Perikanan dan Ilmu Kelautan, F. (2014). Studi Penggunaan Kitosan Terhadap Penurunan Kadar Amoniak Pada Limbah Cair Kilang Minyak Outlet Impounding Basin (OIB) Pertamina Ru Vi Balongan, Indramayu. In *Journal of Marine Research* (Vol. 3, Issue 1).
- Zaini, H., & Sami, M. (n.d.). Kinetika Adsorpsi Pb (II) Dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom Dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. 5 (1): 8-14.