



Research Articles

Aplikasi Beads Komposit Chitosan – Clay Sebagai Adsorben dalam Penyerapan Ion Klorida (Cl-) Pada Air Payau

Application of Chitosan – Clay Composite Beads as Adsorbent to Removal of Cl- Ions in Brackish

Syavina Ananda, Shinta Elystia*, Dewi Fitria

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru, 28293.

**corresponding author, email: shinta.elystia@lecturer.unri.ac.id*

Manuscript received: 12-08-2022. Accepted: 20-09-2023

ABSTRACT

Sumber daya air yang terdapat di daerah pesisir pantai dan pulau dari segi kualitas air masih tergolong rendah, sehingga perlu dilakukan pengolahan. Chitosan dan clay merupakan adsorben yang dapat diaplikasikan dalam berbagai teknik untuk mengatasi pencemaran lingkungan. Chitosan merupakan adsorben alami yang memiliki daya adsorpsi yang tinggi namun memiliki kestabilan mekanik yang rendah dan mudah terlarut dalam medium asam. Clay merupakan adsorben dengan luas permukaan spesifik besar dan mempunyai kestabilan mekanik yang tinggi. Penelitian ini menggunakan beads chitosan – clay yang bertujuan untuk meningkatkan kestabilan mekanik dan ketahanan terhadap lingkungan yang meningkatkan efisiensinya dalam pengolahan air payau yang berlokasi di Desa Bandar Sungai, Kecamatan Sabak Auh, Kabupaten Siak. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi beads chitosan – clay yaitu (1:0), (1:0,25), (1:0,5) dan (1:0,75) (b/b) untuk penurunan kadar ion Klorida (Cl-) pada air payau. Karakterisasi beads chitosan – clay dengan uji daya serap air diperoleh hasil terbaik pada variasi konsentrasi (1:0) yaitu sebesar 694,079%, uji kekuatan mekanik diperoleh hasil terbaik pada variasi konsentrasi (1:0,75) yaitu sebesar 6,23 kgf dan karakterisasi beads chitosan – clay menggunakan SEM menunjukkan bahwa beads memiliki pori yang lebih besar. Nilai efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl-) terbaik sebesar 90,828 % dengan konsentrasi akhir 113 mg/L pada konsentrasi beads chitosan – clay (1:0,5) dengan waktu pengambilan sampel 30 menit. Hasil penelitian telah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Kata kunci: Air payau; adsorpsi; beads; chitosan; clay; Cl-

ABSTRAK

Water resources found in coastal areas and islands in terms of water quality are still relatively low, so treatment is necessary. Chitosan and clay are adsorbents that can be applied in various techniques to overcome environmental pollution. Chitosan is a natural adsorbent that has a high adsorption capacity but has low mechanical stability and is easily dissolved in an acidic medium. Clay is an adsorbent with a large specific surface area and has high mechanical stability. This research uses chitosan – clay beads,

which aim to increase mechanical stability environmental resistance, and efficiency in brackish water treatment. It is located in Bandar Sungai Village, Sabak Auh District, Siak Regency. The research was conducted by varying the concentration of chitosan–clay beads (1:0), (1:0,25), (1:0,5), and (1:0,75) (w/w) to decrease the chloride ion (Cl⁻) in brackish water. The characterization of chitosan-clay beads with the water absorption test obtained the best results at the concentration variation (1:0), which was equal to 694,079%. The mechanical strength test obtained the best results at the concentration variation (1:0,75), which was 6,23 kgf. The characterization of chitosan-clay beads using SEM showed that the beads had larger pores. The results obtained show the best chloride ion removal efficiency (Cl⁻) of 90,828% with a final concentration of 113 mg/L at a concentration of chitosan – clay beads of (1:0.5) with a sampling time of 30 minutes. The research results have met the quality standards set by the Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management.

Key words: Brackish water; adsorption; beads; chitosan; clay; Cl

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia yang semakin hari semakin meningkat kebutuhannya. Sebagian besar penduduk Indonesia tinggal di daerah pesisir. Wilayah pesisir pantai dan pulau kecil di tengah lautan lepas merupakan daerah yang sangat minim akan sumber air bersih sehingga timbul masalah pemenuhan kebutuhan air bersih. Sumber daya air yang terdapat di daerah tersebut umumnya berkualitas buruk, misalnya air tanahnya yang payau atau asin. Kualitas air tersebut sangat buruk karena mengandung kadar garam serta zat organik yang sangat tinggi (Kalsum *et al.*, 2021).

Air payau dapat terbuat dari campuran antara air laut dan air tawar, baik tercampur secara alamiah maupun melalui proses buatan. Air payau memiliki salinitas antara 0,5 gram sampai dengan 35 gram. Salinitas adalah tingkat keasaman atau kadar garam terlarut dalam air. Secara umum, salinitas air payau disebabkan oleh 7 ion utama yaitu ion natrium (Na⁺), Klorida (Cl⁻), sulfat (SO⁴⁻), Kalium (K⁺), Kalsium (Ca²⁺), Magnesium (Mg²⁺) dan bikarbonat (HCO₃⁻) yang masih banyak ditemukan pada sumur penduduk dan kandungan ion-nya masih melampaui ambang batas kadar yang sesuai standar (Purwaningtyas, 2020). Karakteristik kimia yang ada dalam air tersebut dapat merugikan lingkungan dan masyarakat jika dikonsumsi. Beberapa karakteristik kimia yang paling utama dari air payau yaitu konsentrasi Klorida (Cl⁻) sebesar 150 – 10.000 mg/L, derajat keasaman (pH) yang berkisar antara pH 7 – 9 dan kadar TDS yakni 1000 - 10.000 mg/L (Dewi, 2011).

Salah satu parameter kimia yang harus berada dibawah kadar maksimum yang diperbolehkan adalah parameter ion klorida. Klorida merupakan anion yang mudah larut dalam sampel air. Anion Klorida (Cl⁻), merupakan anion anorganik yang terdapat dalam sampel perairan yang jumlahnya lebih banyak daripada anion-anion halogen yang lain (Ngibad & Herawati, 2019). Sehingga dibutuhkan suatu teknologi untuk mengolah air payau menjadi air bersih agar memenuhi standar baku mutu air bersih (Eka, 2020).

Dengan teknologi dan penelitian yang berfokus untuk kelestarian lingkungan, maka dikembangkan pemanfaatan bahan yang tersedia secara alami untuk menghasilkan adsorben ramah lingkungan berbiaya rendah untuk pengolahan air payau (Amari *et al.*, 2021). *Chitosan* merupakan salah satu adsorben alami yang dapat digunakan pada penelitian ini. Dalam bentuk *beads*, *chitosan* akan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dan mempercepat kinetiknya dibandingkan dengan yang berbentuk *flake* (Ngah & Fatimathan, 2010). Sifat

chitosan yang mudah terlarut dalam kondisi asam perlu dimodifikasi sebelum digunakan yaitu dengan penambahan komposit untuk menstabilkan *chitosan* pada kondisi asam sehingga *chitosan* tidak mudah rusak serta dapat meningkatkan resistansinya terhadap lingkungan (Nugroho *et al.*, 2011). Selain itu, *chitosan* memiliki sifat mekanik yang rendah. Sifat mekanik *chitosan* yang rendah tersebut dapat diperbaiki apabila dikompositkan pada *clay*. Campuran *chitosan* dengan *clay* mampu meningkatkan sifat mekanik material, adhesi antar muka yang baik antara *chitosan* dan *clay* yang juga sangat dibutuhkan. Sehingga dapat lebih stabil, lebih kuat secara mekanik dan kimia serta lebih tahan terhadap lingkungan guna berfungsi optimal di berbagai sektor kehidupan manusia (Sakinah, 2020).

Clay dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan beberapa kontaminan organik dan anorganik dari air. Selain itu, harganya yang murah dan ketersediannya yang cukup dibandingkan dengan bahan lain. Sifat dari *clay* diantaranya memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan mempunyai kestabilan mekanik dan kimia yang tinggi (Bhattacharyya & Gupta, 2008). Pembentukan komposit dari *chitosan* dan *clay* dalam bentuk *beads* menunjukkan kelebihan seperti kekuatan mekanis yang relatif tinggi, permeabilitas gas rendah, dan ketahanan terhadap lingkungan yang memungkinkan pengurangan biaya dan meningkatkan efisiensinya dalam menghilangkan berbagai kontaminan dari air (Bergaya, 2013).

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengolahan air payau adalah dengan teknik adsorpsi. Teknik adsorpsi dianggap sebagai teknik yang paling efisien untuk pengolahan air yang mengandung kontaminan biologis, organik, dan anorganik. Selain itu adsorpsi lebih disukai karena fleksibilitas, kompatibilitas, memiliki biaya rendah dan kemampuan regenerasinya yang baik. Metode kolom merupakan metode alternatif dalam proses adsorpsi. Metode kolom menggunakan adsorben yang dimasukkan ke dalam sebuah kolom dan larutan sampel dilewatkan pada kolom dengan laju alir tertentu. Metode kolom dianggap mampu mengadsorpsi ion logam dalam jumlah yang besar dari dalam larutan (Noer & Yudistri, 2012).

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan *beads* komposit *chitosan-clay* untuk menurunkan parameter Klorida (Cl^-) pada air payau dengan menggunakan sistem kolom. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif dalam mengatasi permasalahan air bersih yang sering dihadapi masyarakat khususnya yang berdomisili dikawasan air payau dengan mengupayakan suatu metode yang digunakan untuk mengolah air payau menjadi air bersih agar memenuhi standar baku mutu air bersih.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat percobaan

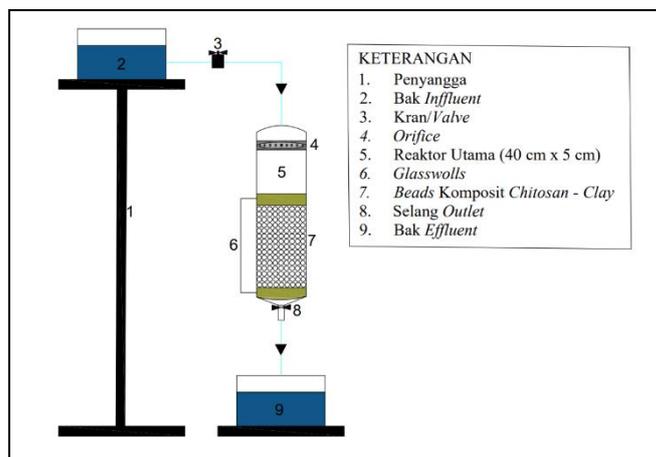
Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan, terhitung dari bulan Maret – Juli 2022 di Laboratorium Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini antara lain ion Klorida (Cl^-).

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah air payau, cangkang kulit udang, *clay*, air bersih, akuades, NaOH 3,5%, HCl 1 N, HCl 2 M, NaOH 50%, CH_3COOH 2% dan TPP 10%.

Alat yang digunakan adalah meliputi jerigen 2 L sebagai wadah sampel air payau, ayakan 200 *mesh*, timbangan analitik, lumpang, alat gelas, blender, *magnetic stirrer with*

hotplate, stopwatch, pipet tetes, kertas saring *whatman* No. 42, corong, oven, penjepit, pH meter, pompa peristaltik, selang silikon diameter 1,11 mm dan reaktor uji.



Gambar 1. Rangkaian Alat Uji *Beads Chitosan – Clay* dengan menggunakan metode kolom adsorpsi

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan Chitosan

Cangkang kulit udang diambil di salah satu rumah makan *seafood* di pekanbaru. Cangkang kulit udang tersebut dibawa ke laboratorium untuk dicuci dengan air bersih yang 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 *et al.*, 2013). Cangkang kulit udang ditumbuk hingga menjadi ukuran lebih kecil. Kemudian dihaluskan menggunakan blender sehingga menghasilkan serbuk halus. Serbuk cangkang kulit udang diayak menggunakan ayakan 200 *mesh* sehingga menghasilkan serbuk halus dengan ukuran $\leq 0,074$ nm. (Hasibuan *et al.*, 2020). Selanjutnya, serbuk cangkang kulit udang yang telah diayak dilakukan proses demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi (Supriyantini *et al.*, 2018).

Tahap Penghilangan Mineral (Demineralisasi)

Serbuk cangkang kulit udang ditambahkan dengan larutan HCl 1 N pada perbandingan 1:7 (b/v). Cangkang kulit udang tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 200 rpm hingga terbentuk busa (± 30 menit). Kemudian, dipanaskan pada suhu 80-90°C selama 1 jam (Rahayu & Purnavita, 2007), dan didinginkan. Setelah dingin, padatan disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral, lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C hingga berat konstan. Selanjutnya didinginkan pada suhu kamar dan ditimbang berat akhirnya (Supriyantini *et al.*, 2018).

Tahap Penghilangan Protein (Deproteinasi)

Crude chitin ditambahkan dengan larutan naoh 3,5% pada perbandingan 1:10 (b/v), kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 200 rpm sambil dipanaskan pada suhu 70- 80° C selama 1 jam dan didinginkan pada suhu kamar. Setelah dingin, endapan disaring dan dicuci dengan akuades hingga ph netral, lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu

100°C hingga berat konstan. Selanjutnya endapan didinginkan pada suhu kamar dan ditimbang berat akhirnya (Supriyantini *et al.*, 2018).

Tahap Deasetilasi

Endapan *chitin* dilarutkan dengan NaOH 50% dalam perbandingan 1:15 (b/v) pada suhu 80 – 90°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 200 rpm selama 2 jam. Setelah dingin, endapan disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral, lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C hingga berat konstan. Selanjutnya *chitosan* didinginkan pada suhu kamar dan ditimbang berat akhirnya (Supriyantini *et al.*, 2018).

Aktivasi Clay

Pengambilan *Clay* dengan cara digerus, selanjutnya *clay* direndam di dalam larutan HCl 2 M selama 30 menit dan dibilas dengan akuades hingga pH nya netral. Selanjutnya, *clay* dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam dan di ayak hingga mendapatkan ukuran 200 *mesh* (Arianty, 2021).

Pembuatan Beads Chitosan – Clay

Komposit *chitosan – clay* bentuk *beads* dibuat dengan melarutkan *chitosan* sebanyak 1 gram dalam 50 mL larutan asam asetat 2%, sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* sehingga terbentuk larutan *chitosan* yang berwarna kuning jernih. Kemudian ditambahkan *clay* yang sudah diaktivasi dengan perbandingan konsentrasi (b/b) yaitu (1:0, 1:0,25, 1:0,5 dan 1:0,75) gram. Campuran *chitosan – clay* diaduk hingga homogen dan dibiarkan selama 24 jam. Pembentukan *beads* dilakukan dengan meneteskan komposit *chitosan – clay* dalam larutan Tripolifosfat (TPP) 10% menggunakan pompa peristaltik dengan diameter selang silikon 1,11 mm. *Beads* yang terbentuk disaring dan dinetralkan sampai pH konstan kemudian dikeringkan pada suhu kamar selama 24 jam (Biswas *et al.*, 2020).

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah RAK (Rancangan Acak Kelompok) dengan 2 faktor yaitu konsentrasi *beads chitosan – clay* (1:0; 1:0,25; 1:0,5 dan 1:0,75) (b/b) dan waktu pengambilan sampel (0; 15; 30; 45 dan 60) menit sehingga terdapat 20 unit percobaan dengan pengulangan perlakuan dan analisa data yang seragam.

Perlakuan dan Analisa Air Payau

Beads chitosan – clay dengan ukuran 1,1 mm dimasukkan ke dalam kolom. Sebanyak 525 mL sampel air payau dialirkan ke dalam kolom sesuai dengan perlakuan penelitian. Hasil penyerapan ditampung dalam wadah dan dianalisis menggunakan metode SNI 06-6989.19-2009. Efisiensi penyisihan dihitung dengan persamaan berikut.

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

Dimana:

C_{in} : Konsentrasi Influen parameter Klorida (Cl^-) (mg/L)

C_{ef} : Konsentrasi Efluen parameter Klorida (Cl^-) (mg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Chitosan

Pada penelitian ini, *chitosan* yang dihasilkan berwarna putih tulang, tidak berbau dan berbentuk serbuk. *Chitosan* yang dihasilkan sesuai dengan penelitian Lubis (2021) bahwa *chitosan* berwarna putih tulang dan berbentuk serbuk. Perbedaan warna antara *chitin* yaitu berwarna putih kecoklatan dengan *chitosan* yaitu berwarna putih tulang. Perubahan warna *chitosan* tersebut disebabkan karena pada proses demineralisasi dan deproteinasi masih terdapat bahan organik yang belum hilang secara sempurna.

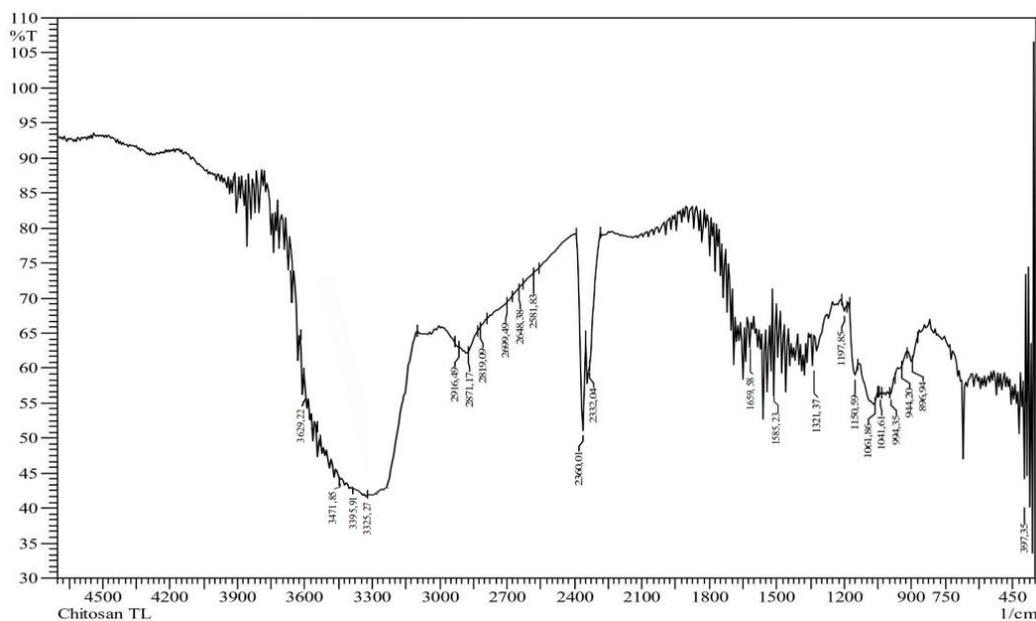


(a) (b)

Gambar 2. Hasil Sintesis (a) *Chitin* (b) *Chitosan*

Karakterisasi Chitosan Menggunakan FTIR (Fourier Transform Infra Red)

Analisa *chitosan* dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus – gugus fungsional pembentuk senyawa dan kemurnian *chitosan* melalui derajat deasetilasi. Derajat deasetilasi adalah suatu parameter mutu yang menunjukkan gugus asetil yang dapat dihilangkan dari *chitin*. Semakin tinggi derajat deasetilasi *chitosan*, maka gugus asetil yang terdapat dalam *chitosan* tersebut semakin sedikit (Siregar *et al.*, 2016).



Gambar 3. Hasil Analisa FTIR *Chitosan*

Tabel 1. Karakteristik pita spektra FTIR *chitosan*.

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang <i>Chitosan</i> Standar (cm ⁻¹) ⁽¹⁾	Bilangan Gelombang <i>Chitosan</i> (cm ⁻¹) ⁽²⁾
1	(vb) O – H tumpang tindih (vs) N – H	3377,95	3325,27
2	(vb) C – H alifatik	2922,85	2916,49
3	(vs) C – H alifatik	2922,85	2871,17
4	(vs) C – H aromatik	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	Ωβ - 1,4 - glikosidik	897,41	896,94

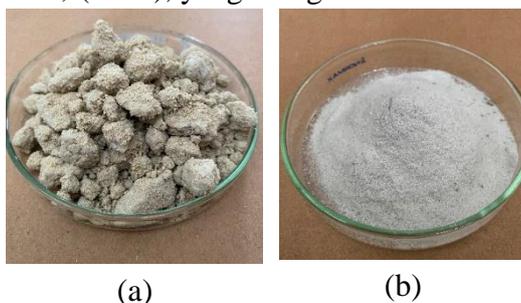
Sumber: ⁽¹⁾ Dompeipen, 2017

⁽²⁾ Hasil Uji Laboraturium FMIPA Universitas Riau, 2022

Berdasarkan spektrum *chitosan* yang tertera pada tabel diatas, maka dapat dilakukan perhitungan derajat deasetilasi menggunakan metode *baseline* dengan cara membandingkan absorbansi pada bilangan gugus amida -NHCO (1650 cm⁻¹ – 1500 cm⁻¹) dengan absorbansi pada bilangan gelombang untuk gugus amina primer -NH₂ (3500 cm⁻¹ – 3200 cm⁻¹) (Chaerunnisa, 2021). Hasil dari perhitungan menggunakan metode *baseline* diperoleh derajat deasetilasi *chitosan* pada penelitian ini sebesar 81%, perhitungan dapat dilihat pada lampiran 8. Apabila derajat deasetilasi lebih dari 70%, maka polimer tersebut disebut *chitosan* (Siregar *et al.*, 2016). *Chitosan* yang memiliki derajat deasetilasi lebih dari 60% maka *chitosan* tersebut siap digunakan sebagai adsorben (Asni *et al.*, 2014).

Hasil Aktivasi Clay

Pada penelitian ini, *chitosan* akan dikompositkan dengan *clay* yang diambil di daerah Kulim. *Clay* dapat digunakan sebagai adsorben tanpa perlakuan aktivasi, namun kemampuan adsorpsi dari *clay* tersebut akan terbatas. Sehingga untuk mengatasi keterbatasan itu, dilakukan proses aktivasi pada *clay* sebelum digunakan sebagai adsorben. Pada penelitian Hanani (2019) mengatakan bahwa terdapat pengurangan persentase pengotor setelah sampel *clay* diaktivasi secara kimia. Hal ini memperkuat dugaan adanya degradasi struktur dari *clay*. Sehingga, menyebabkan terjadinya perubahan warna dan struktur dari sebelum *clay* diaktivasi dan setelah diaktivasi. Bongkahan *Clay* dengan putih atau kekuningan-kuningan berubah menjadi serbuk *clay* ukuran 200 *mesh* berwarna putih setelah dilakukan aktivasi secara kimia. Hasil ini sesuai dengan penelitian Sadiana *et al.*, (2018), yang menghasilkan serbuk putih dari proses aktivasi.



Gambar 4. Hasil (a) Sebelum Aktivasi (b) Setelah Aktivasi

Hasil Sintesis Beads Chitosan – Clay

Modifikasi *chitosan* dengan *clay* dilakukan pada berbagai perbandingan konsentrasi (b/b) 1:0; 1:0,25; 1:0,5; dan 1:0,75. Perbandingan konsentrasi (b/b) tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan massa *chitosan* seiring dengan bertambahnya massa *clay*. *Beads chitosan – clay* yang dihasilkan pada penelitian ini berbentuk sferis dengan warna putih kekuningan.

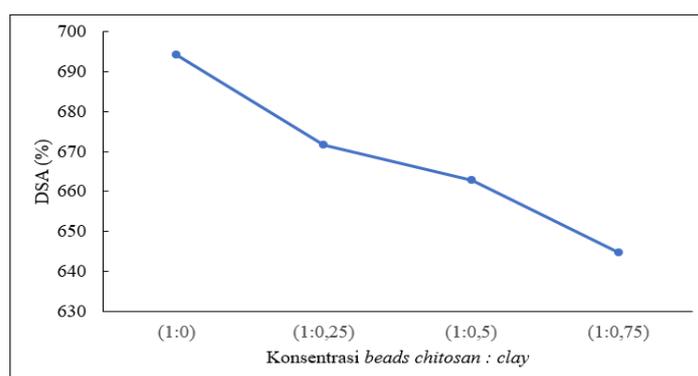


Gambar 5. Hasil Sintesis *Beads Chitosan – Clay*

Karakterisasi *Beads Chitosan – Clay*

Karakterisasi Daya Serap Air pada *Beads Chitosan – Clay*

Grafik hasil analisa daya serap air oleh *beads chitosan – clay* dapat dilihat pada Gambar 6. Berikut.

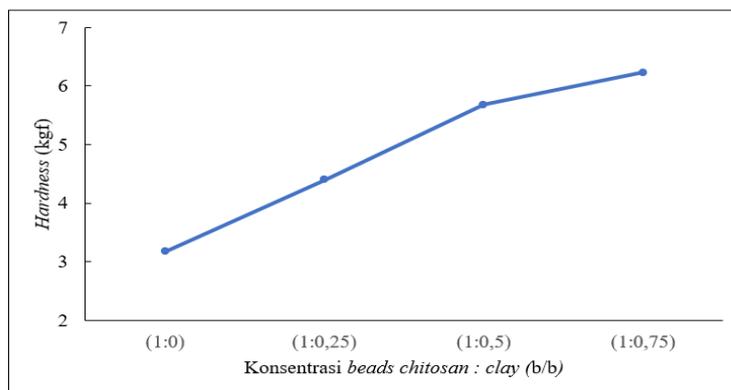


Gambar 6. Daya Serap Air pada *Beads Chitosan – Clay*

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan hubungan daya serap air dengan berbagai konsentrasi *beads chitosan – clay*. Hasil dari perhitungan daya serap air diperoleh nilai daya serap air tertinggi terdapat pada variasi konsentrasi *beads chitosan – clay* 1:0 sebesar 694,079 %, sedangkan nilai daya serap terendah terdapat pada variasi konsentrasi *beads chitosan – clay* 1:0,75 sebesar 644,769 %. Tampak bahwa semakin tinggi kandungan *clay* dalam konsentrasi *beads*, daya serap air akan semakin menurun. Menurut Mahendra (2016), penurunan daya serap air ini dapat dijelaskan dari interaksi *chitosan* dengan air dan *chitosan* dengan *clay*. Pada variasi 1:0, dimana tidak ada penambahan *clay* didalamnya. *Chitosan* yang direndam di dalam air, akan terjadi proses adsorpsi air oleh *chitosan*. Adsorpsi ini berkaitan dengan interaksi gugus – gugus hidrofilik dari *chitosan* ($-NH_2$) dengan molekul air. Banyaknya gugus hidrofilik pada *chitosan* berperan besar terhadap daya serap yang besar terhadap air.

Karakterisasi Kekuatan Mekanik pada Beads Chitosan – Clay

Grafik hasil analisa kekuatan mekanik oleh *beads chitosan – clay* dapat dilihat pada Gambar 7. Berikut.

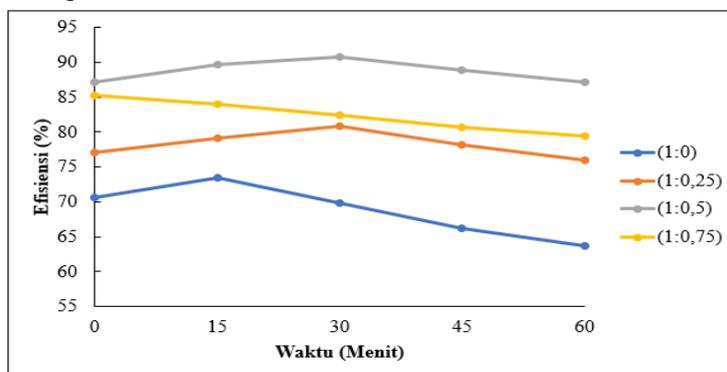


Gambar 7. Kekuatan Mekanik pada *Beads Chitosan – Clay*

Berdasarkan Gambar 7. diatas menunjukkan adanya hubungan peningkatan daya serap air dengan kekuatan mekanik *beads chitosan – clay*. Dengan menggunakan *texture analyzer* diperoleh hasil yaitu 3,17 kgf; 4,39 kgf; 5,68 kgf dan 6,23 kgf. Berdasarkan data diperoleh dinyatakan bahwa hasil tersebut memenuhi standar kekerasan suatu komposit skala mikro yaitu 3 – 30 kgf. Berdasarkan data tersebut menjelaskan bahwa kekerasan suatu *beads* semakin bertambah seiring meningkatnya konsentrasi *clay*. Menurut Rajmohan (2019) menyatakan bahwa *hardness beads* semakin bertambah seiring meningkatnya konsentrasi *clay*. Kekerasan dari *beads* berpengaruh terhadap daya serap air karena air semakin sulit untuk menembus bagian luar akibat banyaknya ion (-OH) yang mengisi jaringan ruang *beads*. Berdasarkan data yang diperoleh dari uji daya serap air, kekuatan mekanik *beads chitosan – clay* berbanding terbalik dengan hasil uji daya serap air.

Pengaruh *Beads Chitosan – Clay* Terhadap Efisiensi Penyisihan Klorida (Cl⁻) pada Air Payau

Nilai efisiensi penyisihan didapatkan dari hasil perhitungan data konsentrasi awal air payau dengan konsentrasi setelah dilakukan kontak dengan *beads chitosan – clay* di dalam reaktor selama waktu detensi 120 menit dengan laju alir 4 ml/menit dan waktu pengambilan sampel 0, 15, 30, 45 dan 60 menit. Pengaruh konsentrasi *beads chitosan – clay* dan waktu pengambilan sampel terhadap efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl⁻) pada air payau masing – masing dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 8. Pengaruh *Beads Chitosan – Clay* Terhadap Efisiensi Penyisihan Klorida (Cl⁻) pada Air Payau

Pengaruh Konsentrasi Beads Chitosan – Clay Terhadap Efisiensi Penyisihan

Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa konsentrasi *beads chitosan – clay* mempengaruhi hasil penyisihan yang didapatkan. Efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl^-) terbaik yang diperoleh yaitu sebesar 90,828% terdapat pada perbandingan konsentrasi 1:0,5, dengan konsentrasi awal ion Klorida (Cl^-) sebesar 1232 mg/L menghasilkan konsentrasi akhir sebesar 113 mg/L. Efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl^-) terendah yaitu sebesar 63,626% terdapat pada perbandingan konsentrasi 1:0 dengan konsentrasi akhir sebesar 448,13 mg/L. Penurunan konsentrasi ion Klorida (Cl^-) yang terjadi disebabkan oleh adanya penambahan *clay* pada *beads* sehingga dapat meningkatkan penyisihan. Namun pada kondisi massa *clay* yang terlalu banyak juga dapat menyebabkan kejenuhan pada *beads* (Saiful *et al.*, 2013).

Hasil penyisihan terbaik dalam penelitian ini juga sesuai dengan penelitian Biswas (2020) yang memperoleh konsentrasi optimum *beads chitosan – clay* dengan perbandingan konsentrasi 2:1 dalam menyisihkan logam berat Cr (VI) dan Pb (II). Kondisi optimum terjadi pada perbandingan konsentrasi 1:0,5 dikarenakan yang berperan dalam proses adsorpsi yaitu gugus aktif amina yang ada pada *chitosan*. Pada konsentrasi *beads chitosan – clay* 1:0 hingga 1:0,5 efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl^-) mengalami peningkatan. Efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl^-) meningkat seiring dengan adanya penambahan *clay* pada *beads chitosan*. Hal ini disebabkan penambahan *clay* dapat mempengaruhi kualitas *beads* sehingga dapat memperpanjang masa ketahanan *beads* sebagai adsorben dan berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsinya (Saiful *et al.*, 2013).

Pada perbandingan konsentrasi 1:0, kemampuan adsorpsi ion Klorida (Cl^-) merupakan yang terendah dibandingkan dengan variasi lain. Pada penelitian Piluharto (2016) *beads chitosan* tanpa penambahan *clay* memiliki daya adsorpsi yang cukup rendah, dikarenakan bentuk fisik *beads chitosan* dalam keadaan kering memiliki interaksi *chitosan* dengan air melalui ikatan hidrogen berkurang menyebabkan *beads* yang diperoleh berubah bentuk dari bentuk bulat menjadi pipih menyebabkan kualitas *beads* tidak terlalu kuat dibandingkan dengan *beads chitosan – clay* lainnya. Pada perbandingan konsentrasi 1:0,25, kemampuan adsorpsi ion Klorida (Cl^-) mengalami peningkatan. Adanya penambahan *clay* pada komposit *beads* tersebut mempengaruhi kemampuan adsorpsinya. Namun, efisiensi penyisihan yang dihasilkan dalam konsentrasi 1:0,25 masih belum optimal, dikarenakan kandungan *clay* masih dalam jumlah yang sedikit, sehingga kualitas *beads* masih belum stabil dibandingkan *beads chitosan – clay* dengan konsentrasi 1:0,5.

Pada perbandingan konsentrasi 1:0,75 efisiensi penyisihan mengalami penurunan dibandingkan dengan konsentrasi 1:0,5 hal ini sesuai dengan penelitian Ardana (2013) yang menyatakan bahwa pada adsorben dengan konsentrasi *clay* yang lebih banyak dan menyebabkan selisih dari konsentrasi *chitosan* kecil, nilai efisiensi adsorpsi menurun, dikarenakan gugus aktif amina yang ada lebih sedikit. Penyerapan ion Klorida (Cl^-) hanya terjadi secara fisik dimana ion Klorida (Cl^-) hanya terperangkap dalam pori – pori *clay* sehingga ada kemungkinan ion Klorida (Cl^-) akan lepas lagi. Akan tetapi, pada adsorben dengan perbandingan *chitosan* yang stabil akan terjadi ikatan koordinasi antara gugus amina dengan ion Klorida (Cl^-).

Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Efisiensi Penyisihan

Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa waktu pengambilan sampel mempengaruhi hasil penyisihan ion Klorida (Cl^-) yang didapatkan. Pada penelitian ini, waktu pengambilan sampel diambil dalam rentang 15 menit, dengan waktu pengambilan sampel awal adalah menit ke-0 yang merupakan waktu tetesan pertama effluent keluar dari reaktor setelah waktu detensi 130 menit. Efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl^-) terbaik yang diperoleh yaitu sebesar 90,828% terdapat pada waktu pengambilan sampel 30 menit. Sedangkan efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl^-) terendah yaitu sebesar 63,626% terdapat pada waktu pengambilan sampel 60 menit. Pada waktu pengambilan sampel 15 menit awal, efisiensi penyisihan mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan *beads chitosan – clay* untuk semua variasi masih dalam keadaan optimal untuk proses adsorpsi. Pada penelitian Sugita (2009) menyatakan peningkatan adsorpsi dikarenakan seluruh permukaan adsorben masih kosong, namun setelah waktu kontak semakin lama, permukaan adsorben telah terisi oleh ion Klorida (Cl^-) sehingga luas daerah kosong adsorben semakin sedikit, dan mengalami penurunan di menit tertentu. Pada perbandingan konsentrasi 1:0 mengalami penurunan efisiensi di menit ke-30, dan pada perbandingan konsentrasi 1:0,25 mengalami penurunan efisiensi di menit ke-45. Adapun perubahan bentuk fisik *beads* setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 9. berikut:



Sebelum adsorpsi Selama Adsorpsi Setelah adsorpsi
Gambar 9. Perubahan bentuk fisik *beads*

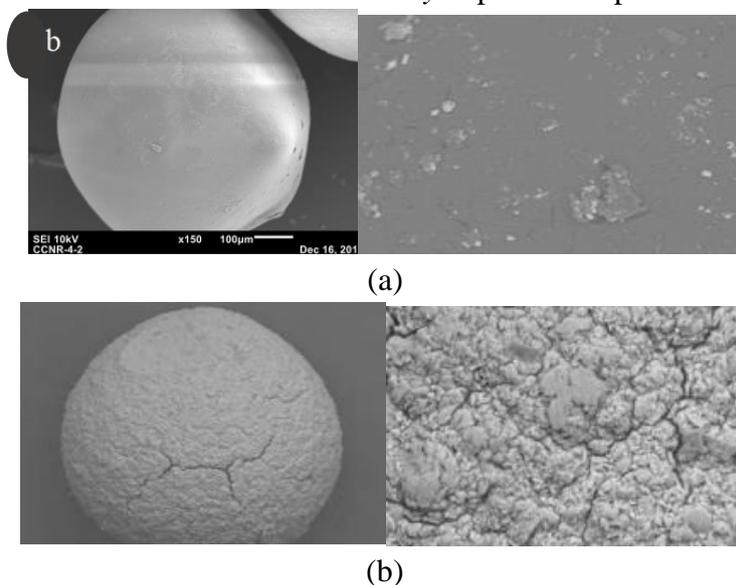
Berdasarkan Gambar 9, dapat dilihat bahwa *beads* mengalami perubahan bentuk setelah dilakukan proses adsorpsi, hal ini disebabkan karena kualitas *beads* tanpa penambahan *clay* menyebabkan *beads* mudah terbentuk pipih sehingga setelah waktu pengambilan sampel di menit ke-30, *beads* mengalami kejenuhan dan mempengaruhi efisiensi penyisihan. Penambahan *clay* dalam jumlah yang sedikit dibandingkan dengan berat *chitosan* juga tidak terlalu memperkuat kualitas *beads* dikarenakan *beads* yang dihasilkan belum stabil karena kurangnya interaksi antara *chitosan* dengan *clay* sehingga mempersingkat waktu ketahanan sebagai adsorben (Piluharto *et al.*, 2016).

Waktu pengambilan sampel optimum untuk *beads chitosan – clay* dalam proses adsorpsi ion Klorida (Cl^-) pada menit ke-30. Hal ini dikarenakan pada menit tersebut, perbandingan konsentrasi 1:0,5 mengalami peningkatan efisiensi dan merupakan efisiensi penyisihan terbaik dalam penelitian ini yaitu sebesar 90,828%. Dan mengalami penurunan mulai dari menit ke-45. Pada perbandingan konsentrasi 1:0,75 efisiensi penyisihan terbaik yaitu sebesar 85,23% dengan waktu pengambilan sampel 0 menit, hal ini dikarenakan penambahan massa *clay* pada variasi tersebut menyebabkan adsorpsi yang terjadi secara fisik dengan ion Klorida (Cl^-) hanya terperangkap dalam pori – pori *clay* sehingga ada kemungkinan ion Klorida (Cl^-) akan terlepas kembali dan menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan di menit berikutnya. Pada penelitian Cahyaningrum & Indrawati (2013) mengatakan bahwa kondisi

kesetimbangan *beads chitosan – clay* diperkirakan sudah jenuh oleh ion Klorida (Cl^-) yang sudah terisi di ruang dalam *beads*. Menurut Djufri (2009) hal tersebut dikarenakan permukaan adsorben telah berada dalam keadaan jenuh oleh ion. Saat keadaan jenuh terjadi proses desorpsi yang merupakan kebalikan dari proses adsorpsi yaitu proses pelepasan kembali komponen atau zat pengotor yang telah berikatan dengan sisi aktif dipermukaan adsorben (Pakiding *et al.*, 2014). Desorpsi terjadi karena ketidakstabilan ikatan antara ion dengan adsorben sehingga ion akan terlepas kembali dari permukaan adsorben (Diantariani *et al.*, 2008). Adsorpsi bersifat *reversible* dimana reaksinya dapat berbalik, sehingga saat ion telah terperap oleh permukaan adsorben akan terjadi keadaan jenuh dimana ion dapat lepas dari permukaan adsorben (Susiantini, 2012).

Karakterisasi SEM pada *Beads Chitosan – Clay* dengan Efisiensi Penyisihan Terbaik

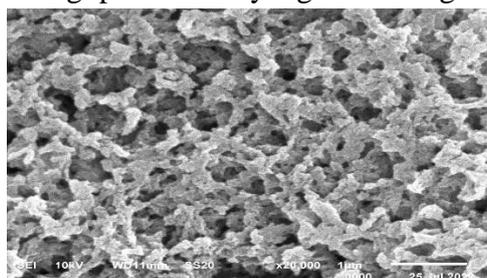
Karakterisasi *beads chitosan – clay* dengan efisiensi penyisihan terbaik yaitu variasi konsentrasi 1:0,5 menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui bentuk dan morfologi padatan. Hasil SEM *beads chitosan* dan *beads clay* dapat dilihat pada Gambar 10. berikut.



Gambar 10. SEM (a) *Beads Chitosan* (b) *Beads Clay*

Sumber: Mahaninia, 2016; Baudua, 2010

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM pada Gambar 10 (a) dapat dilihat bahwa morfologi permukaan *beads chitosan* cenderung halus dengan pori-pori mikro yang ada pada *beads chitosan* berbentuk bulat. Gambar 10 (b) menunjukkan bahwa *beads clay* memiliki pori pori yang lebih besar dengan morfologi permukaan yang cenderung kasar.



Gambar 11. SEM *Beads Chitosan – Clay*

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM pada Gambar 11 menunjukkan bahwa struktur permukaan *beads chitosan – clay* berbeda secara signifikan. Pada perbesaran 1000x dapat diamati bahwa morfologi permukaan *beads chitosan – clay* memiliki pori-pori yang lebih besar dari *beads chitosan*, dan pada perbesaran 20000x terlihat ruang kosong yang saling berikatan dikarenakan adanya penambahan *clay* menyebabkan pori – pori *clay* terdispersi kedalam *beads*. Pada penelitian Nguyen *et al.*, (2019) menyatakan bahwa *beads chitosan – clay* akan membentuk pori-pori dengan luas permukaan spesifik yang lebih besar daripada *beads chitosan*.

Perbandingan Hasil Pengolahan dengan Baku Mutu

Hasil pengolahan air payau berupa konsentrasi ion Klorida (Cl⁻) dengan menggunakan *beads chitosan – clay* sebagai adsorben dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengolahan dengan Baku Mutu

Konsentrasi <i>beads chitosan – clay</i> (b/b)	Waktu Pengambilan Sampel (Menit)	Konsentrasi Awal (mg/L) ⁽¹⁾	Konsentrasi Akhir (mg/L) ⁽²⁾	Baku Mutu (mg/L) ⁽³⁾	Keterangan
1:0	0	1232	362	300	Tidak Memenuhi
	15		327,29		Tidak Memenuhi
	30		372,3		Tidak Memenuhi
	45		416,34		Tidak Memenuhi
	60		448,13		Tidak Memenuhi
1:0,25	0		282		Memenuhi
	15		257,55		Memenuhi
	30		236,8		Memenuhi
	45		268,29		Memenuhi
	60		296		Memenuhi
1:0,5	0		159		Memenuhi
	15		127,5		Memenuhi
	30		113		Memenuhi
	45		137		Memenuhi
	60		159		Memenuhi
1:0,75	0	182	Memenuhi		
	15	196,4	Memenuhi		
	30	216	Memenuhi		
	45	238	Memenuhi		
	60	253,8	Memenuhi		

Sumber: ⁽¹⁾ Hasil Uji UPT Laboraturium Kesehatan dan Lingkungan, 2022

⁽²⁾ Hasil Uji Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, 2022

⁽³⁾ PP No. 22 Tahun 2021

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa hasil pengolahan air payau menggunakan *beads* secara keseluruhan telah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Pada variasi *beads chitosan*, masih belum memenuhi baku mutu dikarenakan kualitas *beads* yang masih rendah sehingga mempengaruhi efisiensi penyisihan pada *beads* tersebut. Sedangkan konsentrasi akhir ion Klorida (Cl⁻) yang diperoleh

dari setiap variasi konsentrasi *beads chitosan – clay* telah berada di bawah standar baku mutu yang ditetapkan yaitu sebesar 300 mg/L.

Hal ini membuktikan bahwa penambahan *clay* pada *beads* meningkatkan kualitas dan kekuatan dari *beads*, sehingga *beads chitosan – clay* sebagai adsorben dapat digunakan secara efektif dalam menurunkan konsentrasi ion Klorida (Cl^-) pada air payau.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, diperoleh hasil derajat deasetilasi *chitosan* sebesar 81%. Karakterisasi *beads chitosan – clay* dengan analisa daya serap air diperoleh hasil tertinggi pada variasi 1:0 dengan 694,079 %, sedangkan analisa kekuatan mekanik diperoleh hasil tertinggi pada variasi 1:0,75 dengan 6,23 kgf. Berdasarkan data yang diperoleh, hasil kekuatan mekanik *beads chitosan – clay* berbanding terbalik dengan hasil uji daya serap air. Karakterisasi *beads chitosan – clay* dengan analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada *beads chitosan – clay* variasi 1:0,5 diperoleh bahwa pengaruh penambahan *clay* menyebabkan morfologi permukaan *beads* memiliki pori-pori yang lebih besar dengan menandakan bahwa *clay* terdispersi secara sempurna. Efisiensi penyisihan ion Klorida (Cl^-) terbaik yaitu sebesar 90,828 % pada konsentrasi *beads chitosan – clay* 1:0,5 dan waktu pengambilan sampel 30 menit dengan konsentrasi akhir sebesar 113 mg/L. Hasil konsentrasi akhir ion Klorida (Cl^-) pada air payau menggunakan *beads chitosan – clay* telah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu sebesar 300 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., Swantara, I.M.D., Suartha, I.N., 2013. Isolasi Kitin, Karakterisasi dan Sintesis Kitosan Dari Kulit Udang, *Jurnal Kimia* Vol. 9 No. 2: 271- 278.
- Amari, A., Alzahrani, F.M., Katubi, K.M., Alsaiari, N.M., Tahoona, M.A., Rebah, F.B. 2021. Clay-Polymer Nanocomposites: Preparations and Utilization for Pollutants Removal. *Journal of Materials*, Vol. 14 No. 6: 1365.
- Asni, N., Saadilah, M.A dan Saleh, D. 2014. Optimalisasi sintesis kitosan dari cangkang kepiting sebagai adsorben logam berat Pb (II). *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol.15 No.1: 18-25.
- Baudu, M., Basly, J. P., Lezehari, M. 2010. Alginate Encapsulated Pillared Clays: Removal of A Neutral/Anionic Biocide (Pentachlorophenol) and A Cationic Dye (Safranin) From Aqueous Solutions. *A physicochem Eng Aspects*, Vol. 366: 88-94
- Bergaya, F. 2013. Introduction to Clay Polymer Nanocomposites (CPN) Chapter 13. Amsterdam: Elsevier.
- Bhattacharyya, K. G., Gupta, S.S. 2008. Adsorptive Accumulation of Cd (II), Co (II), Pb (II) and Ni (II) from Water on Montmorillonite: Influence of Acid Activation. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 310: 411-424.
- Biswas, S., Taslim, Ur Rashid., Tonmoy, Debnath., Papia, Haque., M, Mizanur Rahman. 2020. Application of Chitosan – Clay Biocomposite Beads for Removal of Heavy Metal and Dye from Industrial Effluent. *Journal Of Composite Science*. Vol. 4 No. 16: 63–80.

- Cahyaningrum, S.E., Indrawati, D. 2013. Pengaruh Perbandingan Komposisi Kitosan dan Silika Terhadap Adsorben Kitosan-Silika Bead. *UNESA Journal of Chemistry*, Vol. 2 No. 1: 8-13.
- Dewi, L. K. 2011. Rancang Bangun Alat Pemurni Air Payau Sederhana dengan Membran Reverse Osmosis untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum Masyarakat Miskin Daerah Pesisir. *Jurnal Teknik Lingkungan*: 1-12.
- Diantariani, N. P., Sudiarta. P. I., Elantiani, N. K. 2008. Proses Biosorpsi dan Desorpsi Ion Cr (VI) pada Biosorben Rumput Laut *Euchemma Spinosum*. *Jurnal Kimia*, Vol. 2 No.2:45-52.
- Djufri, H. 2009. Variasi Waktu Kontak dan Berat Adsorben pada Penentuan Kapasitas Adsorpsi Cr (VI) Menggunakan Ampas Tahu. Skripsi. Fakultas FKIP. Universitas Tadulako. Palu.
- Dompeipen, J.A. 2017. Isolation and identification of chitin and chitosan from Windu shrimp (*Panaeus monodon*) with infrared spectroscopy. *Ejournal Kemenprin*, Vol. 13 No.1: 31-41.
- Eka, H. 2020. Removal Natrium (Na^+), Klorida (Cl^-), Dan Kesadahan Air Payau Dengan Resin Penukar Ion, *Jurnal Teknik WAKTU*, Vol. 18 No. 1: 7–14.
- Hanani, M. 2019. Aktivasi Fisika, Kmia dan Kimia Fisika pada Kaolin Sebagai Adsorben Logam Pb pada Limbah Laboratorium Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Skripsi. UIN Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Hasibuan, N.A.H., Elystia, S., Zultiniar. 2020. Pemanfaatan Bionanomaterial Chitosan Sebagai Adsorben untuk Penyisihan Parameter Zat Organik pada Pengolahan Air Gambut. *JOM FT Teknik*, Vol: 7 No. 2: 1-4.
- Kalsum, L., Fadarina., Meidinasriasty, A. 2021. Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Kinetika*, Vol. 12 No. 1: 1-8.
- Lubis, K. L. 2021. Penyisihan Logam Fe pada Air Gambut Menggunakan Membran Chitosan Sebagai Adsorben dengan Variasi Konsentrasi Fe dan Laju Alir. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru
- Mahaninia, M. H. 2016. Preparation and Characterization of Cross-linked Chitosan Beads for Phosphate Adsorption in Aqueous Solution. Thesis. University of Saskatchewan. Saskatoon
- Mahendra, Y.I. 2016. Karakterisasi Hybrid Kitosan/Bentonit sebagai Material Pendukung dalam Controlled Release Nitrogen. Skripsi. Universitas Jember. Jember.
- Ngah, W.S., Fatinathan, S. 2010. Adsorption Characterization of Pb (II) and Cu (II) Ions onto Chitosan-Tripolyphosphate Beads: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Jurnal Environ Manage*, Vol. 91: 958-969.
- Ngibad, K., Herawati, D. 2019. Analisis Kadar Klorida Dalam Air Sumur dan PDAM di Desa Ngelom Sidoarjo. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, Vol. 4 No.1: 1 – 6.
- Nguyen, Q. L., Linh, V. Q., Hanh, T. D. 2019. Effect of The Chitosan Concentration on The Structure of Chitosan Beads Formed In NaOH and NaOH.SiO₂. The 1st Rajamangala Surin International Conference.
- Noer, K., Yudistri, A. 2012. Penggunaan Biomassa *Aspergillus niger* Sebagai Biosorben Cr (III). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, Vol. 19 No. 1: 46-51.

- Nugroho, C.S., Nurhayati, N. D., Utami, B. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Membran Kitosan untuk Aplikasi Sensor Deteksi Logam Berat. *Jurnal Molekul*, Vol. 6 No. 2: 123-136.
- Pakiding, L. M., Sumarni, N. K., Musafira. 2014. Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan $ZnCl_2$ dan Aplikasinya dalam Pengolahan Minyak Jelantah. *Online Journal of Natural Science*, Vol. 3 No. 1: 47 – 54. ISSN: 2338-0950.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Piluharto, B., Mahendra, Y.I., Andarini, N. 2016. Hybrid Kitosan/Bentonit Sebagai Matriks Untuk Pelepasan Ion Amonium dalam Air. *Jurnal Kimia Riset*, Vol. 1 No.1: 42-47.
- Purwaningtyas, F. Y. 2020. Pengaruh Ukuran Zeolit Teraktivasi terhadap Salinitas Air Payau di Desa Kemudi dengan Metode Adsorpsi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*. ISSN 1693-4393.
- Rahayu, L., Purnavita S. 2007. Optimasi Pembuatan Kitosan dari Kitin Limbah Cangkang Rajungan (*Portnus pelagicus*) untuk Adsorben Ion Logam Merkuri. *Reaktor*, Vol 11: 45-49.
- Rajmohan, D. 2019. Characterization of Spirulina-Aliginat Beads Formed Using Ionic Gelation, *Jurnal International Science*, Vol: 5: 1-7.
- Sadiana, I.M., Fatah, A.H., Karelius. 2018. Aktivasi dan Karakterisasi Lempung Alam Asal Kalimantan Tengah Sebagai Salah Satu Alternatif Bahan Adsorben. *Seminar Nasional Pendidikan*. ISBN 978-602-6483-63-8.
- Sakinah, F. 2020. Peningkatan Kualitas Biopolimer (PLA) Nanokomposit Modifikasi Filler Bentonit dan Kitosan Anti-Bakteri. *Jurnal Reaksi*, Vol. 18 No. 1: 1-10.
- Siregar, E.C., Suryati., Hakim, L. 2016. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Chitosan dari Tulang Sotong (*Sepia officinalis*). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, Vol. 5 No. 2: 37-44.
- Sugita, P. 2009. *Kitosan Sumber Biomaterial Masa Depan*. Bogor: IPB Press.
- Supriyantini, E., Yulianto, B., Ridip, A., Sedjati, S., Nainggolan, A. C. 2018. Pemanfaatan Chitosan dari Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kelautan Tropis*, Vol. 21 No. 1:23.
- Susiantini. E. 2012. Adsorpsi $Zr (SO_4)_3^{-2}$ dalam Resin Penukar Anion (Dowex-1x8) pada Kromatografi Anular. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir* ISSN 0216-3128.