

Synthesis of Chitosan/Activated Carbon Composite Beads as an Adsorbent of Pb(II) and Cu(II) ions in Aqueous Solution: A Review

Indah Larasati Dwi Wijayanti, F. Widhi Mahatmanti✉

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Gedung D6 Lantai 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229, Indonesia

Info Artikel

Diterima Februari 2022

Disetujui April 2022

Dipublikasikan Agustus 2022

Keywords:

kitosan
karbon aktif
adsorpsi
ion Pb(II)
ion Cu(II)

Abstrak

Air merupakan zat yang paling penting bagi kehidupan makhluk hidup. Pesatnya perkembangan industri menyebabkan terjadinya pencemaran air oleh ion logam. Adsorpsi merupakan cara untuk menghilangkan kandungan ion logam dalam air. Adsorben yang dapat digunakan untuk adsorpsi antara lain kitosan dan karbon aktif. Kitosan memiliki kelemahan antara lain mudah larut dalam asam, selektivitas rendah serta kekuatan mekanik yang kurang kuat. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat kitosan adalah dengan cara memodifikasinya dengan karbon aktif. Penelitian ini melakukan studi pustaka tentang pembuatan beads komposit kitosan/karbon aktif untuk adsorben ion Pb(II) dan ion Cu(II). Sumber pustaka didapatkan dari database Google Scholar dan diseleksi dengan menggunakan kriteria eksklusi dan inklusi. Hasil dari studi pustaka menunjukkan bahwa kitosan/karbon aktif dapat dibuat dengan cara melarutkan kitosan ke larutan CH_3COOH , kemudian ditambahkan dengan karbon aktif hingga terbentuk campuran dan campuran tersebut dibentuk menjadi beads beads dengan cara meneteskannya ke dalam larutan NaOH. Proses adsorpsi dari kitosan/karbon aktif dipengaruhi oleh faktor pH, waktu kontak serta konsentrasi larutan. Mekanisme reaksi yang terjadi diperkirakan melalui ikatan elektrostatik, pembentukan senyawa kompleks serta pori-pori adsorben. Adsorben kitosan/karbon aktif merupakan adsorben yang dapat diregenerasi dan digunakan kembali untuk adsorpsi sebanyak 5 kali.

Abstract

Water is the most important substance for the life of living things. The development of various industries causes water pollution by metal ions. Adsorption is a way to remove metal ions in water. The adsorbents commonly used for adsorption are chitosan and activated carbon. Chitosan has weaknesses such as being easily soluble in acid, low selectivity, and less strong mechanical strength. One way to improve the properties of chitosan is to modify it with activated carbon. In this study, a literature review was conducted on the manufacture of chitosan/activated carbon composite beads for Pb(II) and Cu(II) ions adsorbents. Reference sources articles obtained from the Google Scholar database were selected using exclusion and inclusion criteria. The results obtained from the literature review show that chitosan/activated carbon can be made by dissolving chitosan in a CH_3COOH solution, adding with activated carbon to form a mixture and the mixture is formed into beads by dripping it into a NaOH solution. The adsorption process of chitosan/activated carbon is influenced by pH, contact time, and solution concentration. The reaction mechanism that occurs is thought to be through electrostatic bonds, the formation of complex compounds, and the pores of the adsorbent. Chitosan/activated carbon adsorbent is an adsorbent that can be regenerated and reused for adsorption 5 times.

Pendahuluan

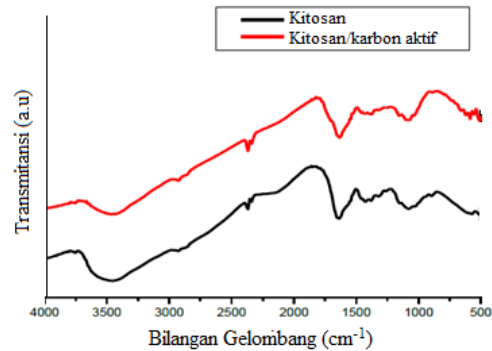
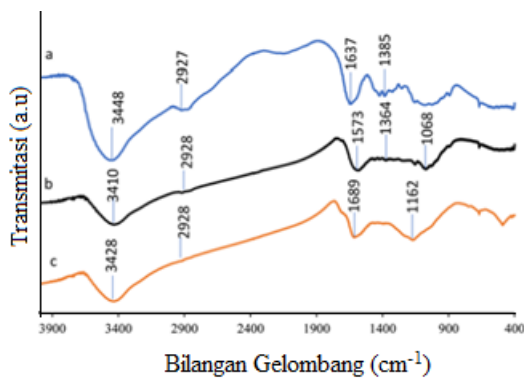
Pencemaran air oleh ion logam berat menjadi perhatian di seluruh dunia. Ion logam berat ini berasal dari air limbah industri kimia modern seperti industri pembuatan baterai, pelapisan logam, metalurgi, pupuk, pertambangan, bahan bakar fosil, kertas, penyamakan kulit dan industri plastik. Industrialisasi yang tumbuh cepat selama beberapa tahun terakhir memberikan kontribusi besar dalam pencemaran ion logam berat di air. Ion logam berat bersifat *non-biodegradable*, memiliki waktu paruh biologis yang panjang, dan jika masuk ke dalam sistem pencernaan makhluk hidup akan memberikan efek yang sangat berbahaya bagi kesehatan (Rehman *et al.*, 2019). Akumulasi ion logam seperti ion Pb(II) dalam tubuh manusia akan menyebabkan gangguan sistem saraf dan reproduksi, kerusakan ginjal dan kanker (Rani *et al.*, 2019). Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling umum digunakan untuk menghilangkan ion logam dalam air dan limbah industri. Karbon aktif memiliki porositas yang tinggi, sehingga karbon aktif juga dapat digunakan dalam proses katalis, elektrokimia, dan berbagai aplikasi lainnya dalam bidang biomedis dan lingkungan (Nejadshafiee & Islami, 2019). Selain karbon aktif, kitosan juga dapat digunakan sebagai adsorben. Kitosan berpotensi digunakan sebagai adsorben karena adanya kandungan gugus aktif pada kitosan yakni gugus $-NH_2$ dan $-OH$. Melalui gugus aktif tersebut kitosan dapat mengadsorpsi ion logam dengan mengikat ion logam dengan gugus amina pada kitosan (Cahyaningrum *et al.*, 2014). Terdapat beberapa kelemahan kitosan antara lain yakni mudah larut dalam asam, selektivitas yang rendah serta kekuatan mekanik yang kurang kuat sehingga diperlukan modifikasi untuk memaksimalkan potensi adsorpsi dari kitosan (Wang *et al.*, 2017).

Modifikasi kitosan dapat dilakukan secara dengan mengubah bentuk serbuk kitosan menjadi bentuk lain seperti fiber, film, membran, *hydrogel* dan *beads*. Modifikasi fisika dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan luas area permukaan, kapasitas adsorpsi dan porositas. Metode preparasi yang digunakan akan mempengaruhi sifat dan karakteristik kitosan modifikasi tersebut. Modifikasi kimia dilakukan dengan menggabungkan kitosan dengan bahan anorganik lain melalui pembentukan senyawa kompleks dan taut silang. Kitosan yang dimodifikasi secara kimia akan memiliki kestabilan yang lebih baik sehingga tidak mudah larut dalam pH rendah (Keshvardoostchokami *et al.*, 2021). Penelitian oleh Nitayaphat *et al* (2015) menunjukkan kitosan yang dimodifikasi dengan menggunakan modifikasi kimia lebih efektif digunakan sebagai adsorben dibandingkan kitosan tanpa modifikasi. Penelitian oleh Hydari *et al* (2012) telah mensintesis komposit kitosan/karbon aktif untuk mengadsorpsi ion logam Cadmium. Berdasarkan penelitian ini didapatkan nilai kapasitas adsorpsi untuk adsorben karbon aktif, kitosan, dan komposit kitosan/karbon aktif masing-masing sebesar 10,3; 10; 52,63 mg/g. Kombinasi dari kitosan dengan karbon aktif dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari adsorben kitosan dan karbon aktif itu sendiri. Hal ini ditunjukkan dengan nilai kapasitas adsorpsi dari komposit kitosan/karbon aktif yang lebih tinggi.

Pada studi pustaka ini penulis mengkaji pembuatan *beads* komposit kitosan/karbon aktif sebagai adsorben ion Pb(II) dan ion Cu(II) dalam larutan air. Aspek-aspek yang menjadi fokus penulis antara lain pembuatan *beads* kitosan/karbon aktif, pengaruh faktor pH, waktu dan konsentrasi awal larutan, mekanisme reaksi serta regenerasi adsorben.

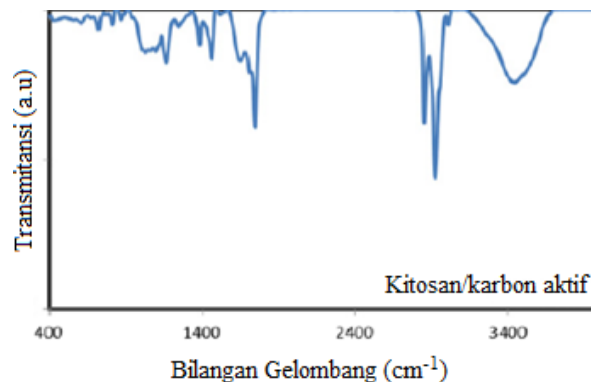
Pembuatan Adsorben Komposit Kitosan/Karbon Aktif

Pembuatan kitosan/karbon aktif berdasarkan penelitian Fatombi *et al.*, (2019) dapat dilakukan dengan menambahkan kitosan sebanyak 2 gram ke dalam 100 mL CH_3COOH 5% dan dilakukan pengadukan konstan 300 rpm selama 4 jam menggunakan pengaduk magnetik. Larutan kitosan ditambahkan 2 gram karbon aktif dan dilakukan pengadukan konstan 300 rpm selama semalam. Pada step ini maka akan terbentuk campuran kitosan/karbon aktif yang selanjutnya campuran tersebut dibentuk menjadi *beads* dengan cara meneteskannya menggunakan *syringe* ke dalam 200 mL larutan NaOH 2 M. *Beads* yang telah terbentuk lalu direndam dalam 50 mL ethanol. *Beads* lalu dicuci menggunakan air hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven 60°C selama 12 jam. Perlakuan ini bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa larutan NaOH yang masih terkandung dalam *beads* adsorben kitosan/karbon aktif tersebut. Hasil karakterisasi FT-IR kitosan/karbon aktif yang telah disintesis oleh Fatombi *et al.*, (2019) dibandingkan dengan hasil penelitian dari Sari *et al.*, (2019) dan Choi *et al.*, (2019) dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. Karakterisasi FT-IR dari kitosan (a), kitosan/karbon aktif (b), dan karbon aktif (c). (Fatombi *et al.*, 2019)

Gambar 2. Karakterisasi FT-IR kitosan dan kitosan/karbon aktif (Sari *et al.*, 2019)



Gambar 3. Karakterisasi FT-IR kitosan/karbon aktif (Choi *et al.*, 2019)

Berdasarkan hasil FT-IR dari kitosan/karbon aktif terlihat puncak pada bilangan 3410 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi dari O–H. Puncak ini juga terdapat pada hasil karakterisasi kitosan/karbon aktif Sari, *et al.*, (2019) pada bilangan 3749,62 cm⁻¹. Puncak vibrasi dari O–H juga muncul pada kitosan/karbon aktif oleh Choi, *et al.*, (2019) pada rentang bilangan sekitar 3400 cm⁻¹. Terlihat pula adanya vibrasi dari N–H pada puncak bilangan 1573 cm⁻¹, begitu pula pada penelitian Sari *et al.*, (2019) vibrasi dari N–H muncul pada bilangan 3448,72 cm⁻¹. Vibrasi dari C–H juga terlihat pada hasil karakterisasi FT-IR ketiganya, pada oleh Fatombi, *et al.*, (2019) vibrasi terlihat pada bilangan 1365 cm⁻¹, pada Sari *et al.*, (2019) terlihat pada bilangan 2924,09 cm⁻¹ sedangkan pada choi et al., vibrasi C–H muncul pada bilangan 2800-2900 cm⁻¹. Vibrasi C–O terlihat pada Sari *et al.*, (2019) pada bilangan 1084,14 cm⁻¹. Vibrasi gugus tersebut juga muncul pada oleh Fatombi, *et al.*, (2019) dan Choi *et al.*, (2019) di bilangan 1068 dan 1450 cm⁻¹. Terlihat vibrasi dari C=O pada hasil karakterisasi FT-IR Choi *et al.*, (2019) pada bilangan 1740 cm⁻¹. Vibrasi C=O tersebut juga muncul pada karakterisasi FT-IR Sari *et al.*, (2019) dan oleh Fatombi *et al.*, (2019) pada bilangan 1635,64 cm⁻¹ dan 1689 cm⁻¹. Dari hasil karakterisasi FT-IR kitosan/karbon aktif yang dibandingkan dengan kitosan dan karbon aktif terlihat tidak adanya perbedaan yang signifikan. Gugus fungsi dari keduanya masih terlihat pada kitosan/karbon aktif. Menurut Sari, *et al.*, (2019) dengan tidak adanya perbedaan yang cukup signifikan pada hasil karakterisasi FT-IR tersebut, maka interaksi yang terjadi antara kitosan dengan kitosan/karbon aktif adalah interaksi fisika.

Ratio komposisi kitosan dan karbon aktif mempengaruhi efektivitas saat proses adsorpsi berlangsung. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Muangchinda *et al.*, (2018) pada adsorben dengan konsentrasi karbon aktif sebanyak 1% memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik. Diameter ukuran *beads* yang terbentuk juga mempengaruhi kemampuan adsorpsi dari adsorben tersebut. Pada penelitian Muangchinda *et al.*, (2018) tersebut terdapat 3 ukuran diameter *beads* yakni 3mm, 4mm dan 5mm. Diantara ketiga ukuran tersebut yang memiliki daya adsorpsi yang paling baik adalah adsorben yang memiliki diameter 3 mm. Adsorben yang memiliki diameter lebih besar kurang optimal dalam mengadsorpsi

adsorbat. Menurut Sarma *et al.*, (2011) hal ini dapat disebabkan karena berkurangnya luas permukaan untuk terjadinya transfer atau perpindahan adsorbat ke adsorben.

Pengaruh pH, Konsentrasi dan Waktu Kontak pada Proses Adsorpsi Ion Pb(II) dan Ion Cu(II) oleh Adsorben Komposit Kitosan/Karbon Aktif

Menurut data studi pustaka sebagian besar adsorben komposit kitosan/karbon aktif dapat mencapai hasil optimum berada pada pH 4,5, 5, dan 6. Pada pH yang sangat asam ($\text{pH} \leq 3$), jumlah ion H^+ dalam larutan sangat besar sehingga terjadi kompetitif adsorpsi dengan ion Pb(II) dan ion Cu(II) untuk berikatan dengan situs aktif adsorben. Pada pH rendah, gugus amina kitosan cenderung sangat mudah terprotonasi menjadi $-\text{NH}_3^+$, yang dapat mengakibatkan terjadinya tolakan elektrostatis dengan ion Pb(II) maupun ion Cu(II) sehingga proses adsorpsi relatif rendah (Tanheitafino *et al.*, 2016). Persentase adsorpsi maupun kapasitas adsorpsi semakin naik dengan naiknya pH larutan. Hal ini dapat dijelaskan secara umum gugus karboksil atau situs aktif yang terdapat pada karbon aktif akan menjadi lebih bermuatan negatif pada pH yang lebih tinggi sehingga meningkatkan daya tarik elektrostatis antara ion logam dan adsorben. Untuk ion logam Pb(II) proses adsorpsi akan berlangsung maksimal sampai mencapai pH 6. Pada pH lebih dari 6 ion Pb(II) cenderung akan bereaksi dan berubah menjadi bentuk hidroksidanya yakni $\text{Pb}(\text{OH})_2$ (Lalchhingpui *et al.*, 2017). Diagram pourbaix digunakan untuk mengevaluasi dan menganalisis fase paling dominan dari logam pada pH tertentu (Çelebi *et al.*, 2020). Berdasarkan diagram Pourbaix dapat terlihat bahwa nilai pH mempengaruhi bentuk fase dari ion Cu dan ion Pb. Pada nilai pH rendah dibawah 2, logam Cu dan Pb masih dalam bentuk ionnya yakni ion Cu(II) dan Pb(II). Namun seiring naiknya nilai pH fase Cu dan Pb berubah dimana saat pH lebih dari 6, logam Pb dan Cu menjadi bentuk hidroksidanya yakni $\text{Pb}(\text{OH})_2$ dan $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Penelitian yang dilakukan oleh Fatombi *et al.*, (2019) menunjukkan adanya pengaruh waktu kontak terhadap proses adsorpsi. Dilakukan proses adsorpsi adsorben kitosan/karbon aktif terhadap *Indigo carmine* dengan variasi waktu 0-60 menit pada kondisi pH 3, suhu 30°C dan konsentrasi larutan 50 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 5 menit awal laju adsorpsi berlangsung cepat dan kemudian perlahan melambat dengan naiknya waktu kontak hingga keadaan setimbang diperoleh pada menit ke-30. Penelitian yang dilakukan Wulan *et al.*, (2020) menunjukkan hasil pada saat awal adsorpsi laju adsorpsi berlangsung cepat dan naik seiring dengan bertambahnya waktu. Penelitian lain yang dilakukan oleh Choi *et al.*, (2019) dimana adsorben kitosan/karbon aktif digunakan untuk mengadsorpsi ion Pb(II), menunjukkan hasil bahwa terjadi peningkatan laju adsorpsi di 10 menit awal dan kesetimbangan tercapai pada menit ke-30. Peningkatan laju adsorpsi di awal waktu dapat dijelaskan karena masih banyaknya situs adsorpsi yang tersedia pada adsorben sehingga interaksi antara adsorbat dengan permukaan adsorben berlangsung maksimal. Pada rentang waktu berikutnya akan terjadi penurunan laju adsorpsi (Soni *et al.*, 2017). Hal ini terjadi akibat berkurangnya jumlah situs aktif adsorpsi pada permukaan adsorben (Idohou *et al.*, 2020).

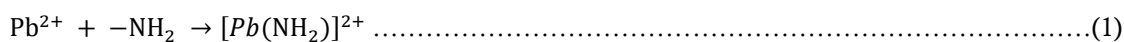
Faktor selanjutnya yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah konsentrasi larutan. Menurut Yu *et al.*, (2018) penelitian mengenai konsentrasi awal larutan merupakan hal dasar yang penting dilakukan karena akan memberikan informasi mengenai kondisi optimum sebuah proses adsorpsi. Laju adsorpsi akan menurun dengan semakin naiknya konsentrasi larutan adsorbat. Dosis adsorben yang tetap namun konsentrasi larutan semakin banyak maka total jumlah situs adsorpsi yang tersedia semakin berkurang dan menyebabkan berkurangnya proses adsorpsi yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben (Liu *et al.*, 2013). Penelitian mengenai pengaruh konsentrasi awal larutan adsorbat terhadap proses adsorpsi ion Pb(II) oleh adsorben kitosan/karbon aktif telah dilakukan oleh Choi *et al.*, (2019) dengan variasi larutan ion Pb dari rentang 1-500 mg/l. Hasil penelitian menunjukkan seiring dengan naiknya konsentrasi larutan terjadi penurunan *removal efficiency*. Pada konsentrasi 10 mg/L *removal efficiency* sebesar 95%, namun saat konsentrasi semakin naik hingga pada konsentrasi larutan 300 mg/L *removal efficiency* menurun menjadi 53%. Hasil penelitian Choi *et al.*, (2019) jika dibandingkan dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Saheed *et al.*, (2021) memiliki fenomena yang sama.

Perkiraan Mekanisme Adsorben Komposit Kitosan/Karbon Aktif dalam Mengadsorpsi Ion Pb(II) dan Ion Cu(II)

Perkiraan mekanisme reaksi yang terjadi pada adsorben komposit kitosan/karbon aktif dapat dijelaskan oleh adanya interaksi antara ion logam dengan gugus fungsi yang ada pada permukaan adsorben (Pawar *et al.*, 2018). Penelitian yang telah dilakukan oleh Choi *et al.*, (2019) menyatakan bahwa adsorpsi ion logam berat oleh komposit kitosan/karbon aktif sangat dipengaruhi oleh kondisi pH larutan. Saat

melakukan proses adsorpsi di pH rendah maka kapasitas adsorpsi akan menurun. Penurunan pH larutan akan mengurangi interaksi proton dengan situs aktif sehingga proses adsorpsi tidak akan berlangsung secara optimal (Elwakeel *et al.*, 2018). Permukaan adsorben akan bermuatan positif karena terjadinya protonisasi gugus fungsi kitosan. Gugus NH₂ mengalami protonisasi menjadi -NH³⁺ sehingga interaksi dengan ion logam cenderung terjadi secara elektrostatis yang kemudian terjadilah proses adsorpsi (Naat *et al.*, 2020). Protonisasi NH₂ menjadi -NH³⁺ menyebabkan berkurangnya jumlah situs aktif pada permukaan adsorben untuk mengadsorpsi ion Pb(II) dan ion Cu(II). Ion H⁺ pada larutan dapat bersaing dengan ion logam untuk situs aktif (-NH₂) sehingga dapat menurunkan jumlah ion yang dapat teradsorpsi (Basir *et al.*, 2017).

Adsorpsi dapat juga berlangsung melalui mekanisme pembentukan kompleks antara gugus fungsi kitosan dengan ion Pb(II) dan ion Cu(II). Sebagai ligan yakni gugus -NH₂ dan ion logam sebagai ion pusat (Cahyaningrum *et al.*, 2014). Adanya pasangan elektron bebas pada gugus fungsi NH₂ mengakibatkan kitosan sebagai pendonor elektron (basa Lewis) dan ion logam sebagai penerima elektron (asam Lewis) (Noviana & Mahatmanti, 2020). Persamaan reaksi adsorpsi adsorben kitosan terhadap ion Pb(II) dan ion Cu(II) ditunjukkan pada persamaan reaksi 1 dan 2 (Wan *et al.*, 2010).



Mekanisme reaksi adsorpsi ion Pb(II) dan ion Cu(II) diperkirakan juga dapat melalui pori-pori karbon aktif. Menurut Wahyuni *et al.*, (2017) pori karbon aktif dapat mengadsorpsi ion Pb(II), karena ion tersebut akan terperangkap masuk ke dalam pori-pori dari karbon aktif. Pada pH asam < 5, terdapat banyak ion H⁺ yang akan mengganggu proses adsorpsi ion Pb(II) akibat adanya kompetisi antara ion H⁺ dengan ion Pb(II). Ukuran pori pada permukaan karbon aktif sangat berpengaruh pada proses adsorpsi. Semakin banyak pori yang terbuka pada permukaan karbon aktif maka proses adsorpsi akan berlangsung baik, dan semakin banyak adsorbat yang terserap pada pori adsorben, sehingga proses adsorpsi berlangsung maksimal (Sitanggang *et al.*, 2017).

Regenerasi Adsorben Kitosan/Karbon Aktif

Untuk dapat digunakan dalam pengelolaan air tercemar sebuah adsorben bukan hanya memiliki kapasitas adsorpsi yang baik, melainkan harus juga memiliki kemampuan regenerasi yang baik pula (Sheth *et al.*, 2021). Hal-hal yang harus diperhatikan untuk memilih metode regenerasi adsorben antara lain yakni kemungkinan nilai atau tingkat desorpsi yang diperoleh, meminimalisir terjadinya kerusakan adsorben, kemudahan dan keamanan penggunaan agent regenerasi serta kemudahan untuk memisahkan adsorbate dari adsorbent (Shah *et al.*, 2013). Menurut Upadhyay *et al.*, (2021) metode regenerasi yang cocok untuk adsorben berbasis kitosan adalah metode kimia. Metode lainnya yakni termal dan biologi dinilai kurang efektif karena dapat mendegradasi atau merusak kitosan. Metode kimia dinilai lebih efektif karena murah, ramah lingkungan serta minim terjadinya kerusakan pada adsorben. Regenerasi adsorben dapat dilakukan menggunakan metode desorpsi dengan eluent yang sesuai (Shaker *et al.*, 2015).

Telah dilakukan penelitian mengenai kemampuan penggunaan ulang adsorben komposit kitosan/karbon aktif oleh Tyas *et al.*, (2018). Adsorben yang telah digunakan lalu dielusi dengan menggunakan larutan Na₂EDTA 0,015 M dan H₂SO₄ 0,1 M sebanyak 5 kali. Dilanjutkan dengan proses regenerasi dimana adsorben tersebut kemudian dicuci dengan larutan NaOH 0,1 M sebanyak 2 kali dan dikeringkan dalam oven. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi adsorben pertama hasil regenerasi (93,26%) dan kapasitas adsorpsi adsorben kedua hasil regenerasi (100%) sama dengan kapasitas adsorpsi adsorben awal. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Qeydari *et al.*, (2021) dimana adsorben melamine/kitosan/karbon aktif diregenerasi dengan cara mensentrifuge adsorben jenuh menggunakan larutan HCl 0,1 M selama 60 menit. Hasil kemampuan regenerasi ditunjukkan pada Gambar 4 dimana adsorben melamine/kitosan/karbon aktif yang sudah diregenerasi dapat digunakan ulang hingga 5 kali.



Gambar 4. Penggunaan ulang adsorben melamine/kitosan/karbon aktif selama 5 siklus (Qeydari *et al.*, 2021)

Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh penelitian yang telah dilakukan juga oleh Elwakeel *et al.*, (2018). Penelitian Elwakeel *et al.*, (2018) menggunakan larutan HNO_3 sebagai agen desorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen desorpsi untuk ion Cu(II) sebesar 94,3% dan efisiensi regenerasi sebesar 95,4%. Pada penelitiannya tersebut, Elwakeel *et al.*, (2018) menyatakan bahwa adsorben kitosan/karbon aktif kemungkinan dapat digunakan sebanyak 5 kali untuk proses adsorpsi dan regenerasi/daur ulang. Berdasarkan penelitian tersebut menjelaskan bahwa adsorben komposit kitosan/karbon aktif merupakan adsorben yang dapat digunakan kembali.

Simpulan

Pembuatan kitosan/karbon aktif dapat dibuat dengan cara melarutkan kitosan ke larutan CH_3COOH , ditambahkan dengan karbon aktif hingga terbentuk campuran dan kemudian campuran tersebut dibentuk menjadi bentuk *beads* dengan cara meneteskannya ke dalam larutan NaOH . Proses adsorpsi dipengaruhi oleh pH larutan, konsentrasi serta waktu kontak. Proses adsorpsi ion logam Pb(II) dan Cu(II) diperkirakan berlangsung melalui ikatan elektrostatis, pembentukan senyawa kompleks serta melalui pori-pori adsorben. Adsorben kitosan/karbon aktif dapat diregenerasi dan dipergunakan untuk adsorpsi kembali sebanyak 5 kali.

Daftar Pustaka

- Basir, I. F., Mahatmanti, F. W., & Haryani, S. 2017. Sintesis Komposit Beads Kitosan / Arang Aktif Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Ion Cu(II) . *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2): 182–188.
- Cahyaningrum, S. E. & Amaria. 2014. Kapasitas dan mekanisme adsorpsi Ni(II) oleh kitosan sulfat. *Sains dan Terapan Kimia*, 8(1): 9-19.
- Çelebi, H., Gök, G., & Gök, O. (2020). Adsorption capability of brewed tea waste in waters containing toxic lead(II), cadmium (II), nickel (II), and zinc(II) heavy metal ions. *Scientific Reports*, 10(1): 1–12.
- Choi, H. J. (2019). Applicability of composite beads, spent coffee grounds/chitosan, for the adsorptive removal of pb(I) from aqueous solutions. *Applied Chemistry for Engineering*, 30(5): 536–545.
- Elwakeel, K. Z., Aly, M. H., El-Howety, M. A., El-Fadaly, E., & Al-Said, A. (2018). Synthesis of Chitosan@activated Carbon Beads with Abundant Amino Groups for Capture of Cu(II) and Cd(II) from Aqueous Solutions. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(9): 3590–3602.
- Fatombi, J. K., Idohou, E. A., Osseni, S. A., Agani, I., Neumeyer, D., Verelst, M., Mauricot, R., & Aminou, T. (2019). Adsorption of Indigo Carmine from Aqueous Solution by Chitosan and Chitosan/Activated Carbon Composite: Kinetics, Isotherms and Thermodynamics Studies. *Fibers and Polymers*, 20(9): 1820–1832.

- Hydari, S., Shariffard, H., Nabavinia, M., & Parvizi, M. reza. (2012). A comparative investigation on removal performances of commercial activated carbon, chitosan biosorbent and chitosan/activated carbon composite for cadmium. *Chemical Engineering Journal*, 193–194: 276–282.
- Idohou, E. A., Fatombi, J. K., Osseni, S. A., Agani, I., Neumeyer, D., Verelst, M., Mauricot, R., & Aminou, T. (2020). Preparation of activated carbon/chitosan/Carica papaya seeds composite for efficient adsorption of cationic dye from aqueous solution. *Surfaces and Interfaces*, 21(July): 100741.
- Keshvardoostchokami, M., Majidi, M., Zamani, A., & Liu, B. (2021). A review on the use of chitosan and chitosan derivatives as the bio-adsorbents for the water treatment: Removal of nitrogen-containing pollutants. *Carbohydrate Polymers*, 273(August): 118625.
- Khas, H., & Delhi, N. (2013). Steam Regeneration of Adsorbents: An Experimental and Technical Review. *Chemical Science Transactions*, 2(4): 1078–1088.
- Lalchhingpuii, Tiwari, D., Lalmunsiana, & Lee, S. M. (2017). Chitosan templated synthesis of mesoporous silica and its application in the treatment of aqueous solutions contaminated with cadmium(II) and lead(II). *Chemical Engineering Journal*, 328: 434–444.
- Liu, T., Yang, X., Wang, Z. L., & Yan, X. (2013). Enhanced chitosan beads-supported Fe₀-nanoparticles for removal of heavy metals from electroplating wastewater in permeable reactive barriers. *Water Research*, 47(17): 6691–6700.
- Mousavi-Qeydari, S. R., Samimi, A., Mohebbi-Kalhari, D., & Ahmadi, E. (2021). A mesoporous melamine/chitosan/activated carbon biocomposite: Preparation, characterization and its application for Ni (II) uptake via ion imprinting. *International Journal of Biological Macromolecules*, 188(August): 126–136.
- Muangchinda, C., Chamcheun, C., Sawatsing, R., & Pinyakong, O. (2018). Diesel oil removal by *Serratia* sp. W4-01 immobilized in chitosan-activated carbon beads. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(27): 26927–26938..
- Naat, J. N., Neolaka, Y. A. B., & Lawa. (2020). Kontak optimum adsorption Mn(II) menggunakan adsorben silika kitosan yang bersumber dari pasir. *Prosiding Webinar Nasional Pendidikan dan Sains Kimia 3 Tahun 2020*
- Nejadshafiee, V., & Islami, M. R. (2019). Adsorption capacity of heavy metal ions using sultone-modified magnetic activated carbon as a bio-adsorbent. *Materials Science and Engineering C*, 101(July 2018): 42–52.
- Nitayaphat, W., & Jintakosol, T. (2015). Removal of silver(I) from aqueous solutions by chitosan/bamboo charcoal composite beads. *Journal of Cleaner Production*, 87(1): 850–855.
- Noviana, M., & Mahatmanti, F. W. (2020). Preparasi Komposit Kitosan-Alumina Beads sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium (II) dan Nikel (II) dalam Larutan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1): 49–55.
- Pawar, R. R., Lalmunsiana, Kim, M., Kim, J. G., Hong, S. M., Sawant, S. Y., & Lee, S. M. (2018). Efficient removal of hazardous lead, cadmium, and arsenic from aqueous environment by iron oxide modified clay-activated carbon composite beads. *Applied Clay Science*, 162(November 2017): 339–350.
- Purnama, F., & Taufik, S. M. (2019). Synthesis of Chitosan with-Activated Carbon From Coffee to Reduce Concentration Metal Cadmium. *IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering*, 6(1): 42–46. www.ijste.org
- Rani, K., Gomathi, T., Vijayalakshmi, K., Saranya, M., & Sudha, P. N. (2019). Banana fiber Cellulose Nano Crystals grafted with butyl acrylate for heavy metal lead (II) removal. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131: 461–472.
- Rehman, K., Bukhari, S. M., Andleeb, S., Mahmood, A., Erinle, K. O., Naeem, M. M., & Imran, Q. (2019). Ecological risk assessment of heavy metals in vegetables irrigated with groundwater and wastewater: The particular case of Sahiwal district in Pakistan. *Agricultural Water Management*, 226(September): 105816.

- Saheed, I. O., Oh, W. Da, & Suah, F. B. M. (2021). Removal of 1-Butyl-3-methylimidazolium bromide from an aqueous solution by using a spongy chitosan-activated carbon composite. *Colloids and Interface Science Communications*, 42(February): 100393.
- Sarma, S. J., Pakshirajan, K., & Saamrat, K. B. G. (2011). Pyrene biodegradation by free and immobilized cells of *Mycobacterium frederiksbergense* using a solvent encapsulated system. *Indian Journal of Biotechnology*, 10(4): 496–501.
- Shaker, M. A. (2015). Adsorption of Co(II), Ni(II) and Cu(II) ions onto chitosan-modified poly(methacrylate) nanoparticles: Dynamics, equilibrium and thermodynamics studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 57: 111–122.
- Sheth, Y., Dharaskar, S., Khalid, M., & Sonawane, S. (2021). An environment friendly approach for heavy metal removal from industrial wastewater using chitosan based biosorbent: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43(August 2020): 100951.
- Sitanggang, T., Shofiyani, A., & Syahbanu, I. (2017). Karakterisasi adsorpsi Pb(II) pada karbon aktif dari sabut pinang (*Areca catechu* L) teraktivasi H_2SO_4 . *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 6(4): 49–55.
- Soni, U., Bajpai, J., Singh, S. K., & Bajpai, A. K. (2017). Evaluation of chitosan-carbon based biocomposite for efficient removal of phenols from aqueous solutions. *Journal of Water Process Engineering*, 16: 56–63.
- Tanheitafino, S., Zaharah, T., & Destiarti, L. (2016). Modifikasi Kitosan dengan Kaolin dan Aplikasinya sebagai Adsorben Timbal(II). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 5(2): 33–42.
- Tyas, A. H., Zaharah, T. A., & Shofiyani, A. (2018). Penentuan kemampuan penggunaan ulang komposit kitosan-karbon pada proses adsorpsi Ce(VI). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(2): 61–68.
- Upadhyay, U., Sreedhar, I., Singh, S. A., Patel, C. M., & Anitha, K. L. (2021). Recent advances in heavy metal removal by chitosan based adsorbents. *Carbohydrate Polymers*, 251(May 2020): 117000.
- Wahyuni, S., Ningsih, P., & Ratman, R. (2017). Pemanfaatan Arang Aktif Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra* L.) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Akademika Kimia*, 5(4): 191.
- Wan, M. W., Kan, C. C., Rogel, B. D., & Dalida, M. L. P. (2010). Adsorption of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solution on chitosan-coated sand. *Carbohydrate Polymers*, 80(3): 891–899.
- Wang, J., & Zhuang, S. (2017). Removal of various pollutants from water and wastewater by modified chitosan adsorbents. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(23): 2331–2386.
- Wulan, P., Kusumastuti, Y., & Prasetya, A. (2020). Removal of Fe (II) from Aqueous Solution by Chitosan Activated Carbon Composite Beads. *Applied Mechanics and Materials*, 898: 3–8.
- Yu, S. W., & Choi, H. J. (2018). Application of hybrid bead, persimmon leaf and chitosan for the treatment of aqueous solution contaminated with toxic heavy metal ions. *Water Science and Technology*, 78(4): 837–847.