



Pengaruh Penambahan Epiklorohidrin Terhadap Sifat Mekanik dan Daya Serap Film Khitosan Sebagai Adsorben

The Effect of the Addition of Epichlorohydrin on the Mechanical Property and Adsorption Capacity of Chitosan Film as Adsorbent

Nisfayati^{1,2}, Rahmi^{1*}, Marlina¹

¹Program Studi Magister kimia, Program Pascasarjana, Fakultas MIPA, Universitas syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurauf 7 Darussalam Banda Aceh 23111

²Badan Pengendalian Dampak lingkungan Aceh
Jl. Tgk. Malem No. 2 Kuta Alam Banda Aceh 23121
Email : rahmi@fmipa.unsyiah.ac.id

Abstrak

Pembuatan film khitosan berikatan silang epiklorohidrin telah dilakukan dengan metode inversi fasa. Pada penelitian ini khitosan dimodifikasi dengan epiklorohidrin untuk memperbaiki sifat mekanik dan kapasitas adsorpsi. Film khitosan hasil modifikasi diuji sifat mekaniknya dengan alat uji tarik dan daya serapnya diuji terhadap ion Cd²⁺. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa dengan adanya pembentuk ikat silang epiklorohidrin pada khitosan dapat meningkatkan *tensile strength* film khitosan dan optimum pada komposisi 54,128% b/b. Hasil uji adsorpsi terhadap ion Cd²⁺ menunjukkan bahwa penambahan epiklorohidrin dapat meningkatkan kapasitas penyerapan ion Cd²⁺ sebesar 31,33% dibandingkan dengan film khitosan tanpa ikat silang.

Kata kunci: khitosan, ikat silang, epiklorohidrin, adsorpsi, ion logam Cd²⁺

Abstract

Preparation of epichlorohydrin crosslinked chitosan film has been done by phase inversion method. Chitosan is modified with epichlorohydrin by the purpose of improving its mechanical properties and adsorption capacity. Mechanical properties of crosslinked chitosan film are examined by tensile test. Adsorption study is done for Cd²⁺ ion removal from aqueous solutions. Tensile test results shows that epichlorohydrin as crosslinking agent of chitosan could improve tensile strength and optimum at 54.128% w/w of composition. The results of Cd²⁺ ions adsorption showed that the addition of epichlorohydrin in chitosan can increase the adsorption capacity of Cd²⁺ ions by 31,33% compared to non-crosslinked chitosan films.

Keywords: chitosan, crosslinking, epichlorohydrin, adsorption, Cd²⁺ ions

1. Pendahuluan

Perkembangan industri yang mulai meningkat, meliputi industri tekstil, perminyakan, kertas, makanan, elektronik dan industri lainnya, akan menghasilkan limbah yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah cair terdiri dari limbah cair organik dan limbah cair anorganik. Salah satu limbah cair anorganik adalah limbah ion logam berat, seperti ion Fe, Cu, Zn, Au, Cd dan ion logam berat lainnya. Limbah cair anorganik yang dihasilkan tersebut merupakan masalah yang sangat serius yang memerlukan penanganan lebih lanjut. Beberapa metode pengolahan limbah ion logam berat yang telah dilakukan seperti metode pertukaran ion (Zewail dan Yousef, 2015), presipitasi (Rao dkk., 2010), membran filtrasi, elektrodialisis, fotokatalis

(Barakat, 2011), dan adsorpsi (Shahata, 2012).

Metode adsorpsi adalah salah satu metode pengolahan limbah ion logam yang sering digunakan karena adsorpsi merupakan metode yang lebih efektif karena operasinya mudah, efisiensi tinggi, biaya rendah, dan regenerasinya mudah. Adsorben yang pernah digunakan diantaranya adalah arang aktif, silika (Karnib dkk., 2014), cangkang telur, kerang (Ahmad dkk., 2011) dan khitosan (Mohammad dkk., 2015). Diantara adsorben yang pernah dipakai, khitosan memiliki kelebihan yaitu memiliki gugus amina (-NH₂) yang berperan secara efektif dalam penyerapan ion logam transisi dan gugus hidroksil (-OH) yang berfungsi sebagai sisi interaksi koordinasi dan elektrostatik (Wu dkk., 2001). Disamping

keunggulan di atas, khitosan juga mempunyai kekurangan yaitu memiliki sifat mekanik yang lemah (Tran dkk., 2013) dan sifat kimia yang lemah dimana ia mudah larut dalam asam organik encer seperti asam format, asam asetat, asam propionate, dan asam laktat (Laus dkk., 2010). Kelemahan sifat kimia dan mekanik dari khitosan dapat diperbaiki dengan ikat silang antara rantai polimer khitosan menggunakan pembentuk ikat silang seperti epiklorohidrin. Epiklorohidrin merupakan salah satu pengikat silang pada polimer yang juga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi, seperti beberapa penelitian yang telah dilakukan yaitu penambahan epiklorohidrin dapat meningkatkan stabilitas kimianya dalam suasana asam serta membentuk pori khitosan menjadi lebih besar yang menyebabkan daya adsorpsinya lebih besar (Madjid dkk., 2015), khitosan berikatan silang epiklorohidrin dan tripospat juga dapat meningkatkan daya adsorpsinya (Laus dkk., 2010), modifikasi polisakarida (kulit pisang) dengan pengikat silang epiklorohidrin untuk meningkatkan sifat kimia dan sifat fisika untuk meningkatkan serapan terhadap ion logam (Suhartini, 2013).

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan adsorben yang berfungsi untuk mengadsorpsi ion logam Cd^{2+} dalam air. Adsorben dibuat dari khitosan berikatan silang epiklorohidrin. Metode pembuatan adsorben adalah secara inversi fasa yaitu suatu proses dimana polimer mengalami perubahan dari fasa cair menjadi fasa padat (Utami dan Fansuri, 2014). Metode inversi fasa dipilih pada penelitian ini karena prosesnya sederhana yaitu hanya dengan cara menguapkan pelarut. Adsorben diperoleh dengan melarutkan khitosan dalam asam asetat 2% dan ditambahkan epiklorohidrin dengan variasi komposisi kemudian dikeringkan. Adsorben yang diperoleh dikarakterisasi dengan uji tarik, FTIR, XRD dan uji daya serapnya terhadap ion Cd^{2+} .

2. Metodologi

2.1. Bahan

Khitosan dan epiklorohidrin diperoleh dari *Tokyo Chemical Industry co., LTD*. $Cd(NO_3)_2$ didapatkan dari Merck, Germany. Peralatan analisis berupa *Fourier Transform Infra-Red* (Agilent Technologies Cary 630 FTIR), dan *X-ray diffraction* Merk Pan Analytical, Expert Pro. Untuk analisis sifat mekanik digunakan *Universal Testing Machine* HT8503.

2.2. Pembuatan Khitosan Berikatan Silang Epiklorohidrin

Sebanyak 1 gram khitosan dilarutkan dalam 100 mL larutan asam asetat (CH_3COOH) 2% (v/v) lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 3 jam (sampai homogen) kemudian ditambahkan epiklorohidrin dengan variasi seperti pada Tabel 1. Campuran diaduk lagi dengan magnetik stirrer selama 1 jam dan kemudian dituangkan pada alat pencetak film. Kemudian dikeringanginkan pada suhu kamar. Selanjutnya dilakukan uji tarik, FTIR, XRD, dan uji daya serap terhadap ion Cd^{2+} .

Tabel 1. Komposisi khitosan dan epiklorohidrin yang digunakan untuk pembuatan film khitosan berikatan silang.

No	Khitosan (gram)	Epiklorohidrin (mL)	Epiklorohidrin (% b/b)
1.	1	0	0
2.	1	0,4	32,065
3.	1	0,8	48,560
4.	1	1,0	54,128
5.	1	1,2	58,609

2.3. Analisis FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari khitosan dan khitosan berikatan silang epiklorohidrin dengan alat *Fourier Transform Infra-Red* (Agilent Technologies Cary 630 FTIR). Analisis FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia, FMIPA Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Persiapan sampel pada kisaran spektra 4000 - 400 cm^{-1} (Pandey dan Tiwari, 2015). Identifikasi puncak dapat dilakukan dengan mengamati % transmitan terhadap bilangan gelombang.

2.4. Analisis XRD

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui sifat kristalin dari khitosan dan khitosan berikatan silang epiklorohidrin. Analisis sifat kristalin dilakukan dengan alat XRD (*x-ray diffraction*) Merk Pan Analytical, Expert Pro yang dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Dilakukan dengan menyinari sampel dengan sinar-x dengan sudut 2θ menggunakan radiasi Cu pada 40 kV dan 30 mA.

2.5. Analisis Sifat Mekanik

Analisis sifat mekanik dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik yaitu *Universal Testing Machine* HT8503 yang dilakukan di

Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik (*tensile strength*) dari khitosan dan khitosan berikatan silang epiklorohidrin. Dilakukan dengan cara ujung sampel film dijepit pada mesin pengujinya. Sebelumnya dilakukan pengukuran ketebalan dan panjang awal sampel. Kemudian tekan tombol start pada komputer sehingga penjepit sampel akan menarik sampel dengan kecepatan 100 mm/menit sampai sampel putus. Hasil atau nilai kekuatan tarik didapatkan dari hasil pembagian tegangan maksimal dengan luas permukaan melintang dari film (Setiani dkk., 2013). Persamaan (1) adalah persamaan untuk menghitung kekuatan tarik (*tensile strength*).

$$\tau = \frac{F_{max}}{A} \quad (1)$$

Dimana τ adalah kuat tekan (Mpa); F_{max} adalah tegangan maksimal (N) dan A adalah luas penampang melintang (mm²).

2.6. Uji Adsorpsi

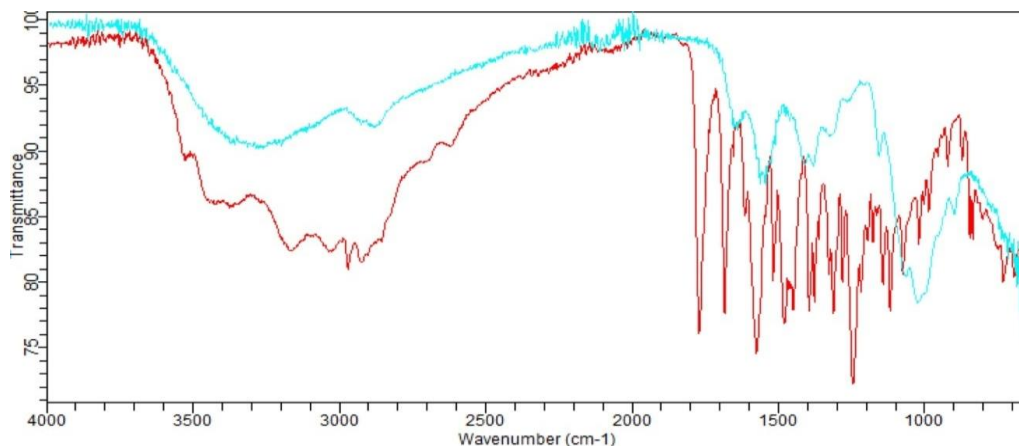
Film khitosan dipotong menjadi potongan-potongan kecil dengan ukuran 1 x 1 cm. Potongan-potongan khitosan dimasukkan ke dalam wadah yang berisi larutan ion logam Cd²⁺ 4,75 ppm (25 mL). Larutan diaduk dengan *shaker* pada kecepatan 120 rpm selama 30 menit dan diatur pH 5 (Rahmi dkk., 2015). Selanjutnya dilakukan penyaringan dan diukur konsentrasi Cd²⁺ pada larutan dengan metode spektrofotometri UV-vis. Hal yang sama juga dilakukan untuk film khitosan berikatan silang epiklorohidrin.

3. Hasil dan Pembahasan

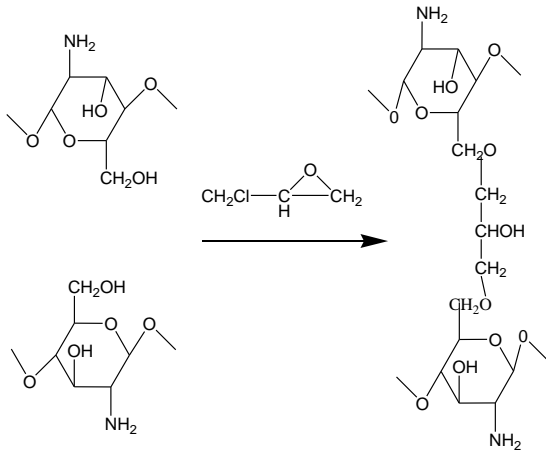
3.1. Gugus Fungsi Khitosan

Hasil analisis FTIR khitosan diperlihatkan pada Gambar 1. Terlihat bilangan gelombang yang khas untuk khitosan muncul pada 3247 cm⁻¹ dan 3422 cm⁻¹ menunjukkan *stretching vibrations* O-H dan N-H. Bilangan gelombang 2970 cm⁻¹ menunjukkan *stretching vibrations* C-H dan bilangan gelombang 1020 cm⁻¹ menunjukkan *stretching vibrations* C-O-C. Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Kurniasih dan Kartika (2011), Stevens (1999), Pandey dan Tiwari (2015), dan Tirtom dkk. (2012).

Bilangan gelombang khitosan terdapat pada daerah 3440 cm⁻¹ yang menunjukkan serapan *stretching* O-H dan N-H (Kurniasih dan Kartika, 2011). Bilangan gelombang 3247 cm⁻¹ menunjukkan adanya ikatan O-H (ikatan hidrogen) dan bilangan gelombang 2900-2880 cm⁻¹ menunjukkan adanya ikatan C-H (Stevens, 1999). Bilangan gelombang 1655 - 1597 cm⁻¹ menunjukkan adanya *bending vibration* gugus -NH₂ (Pandey dan Tiwari, 2015). Bilangan gelombang 1030 cm⁻¹ menunjukkan adanya *bending vibration* C-O-C (Tirtom dkk., 2012). Bilangan gelombang untuk *Bending vibration* C-O-C muncul pada 1020 cm⁻¹ dengan intensitas yang kecil pada film khitosan, sedangkan pada khitosan berikatan silang epiklorohidrin pada puncak 1019 cm⁻¹ menunjukkan puncak tajam dengan intensitas yang tinggi. Hal tersebut menunjukkan makin bertambah banyaknya ikatan C-O-C, yang menjelaskan adanya epiklorohidrin berikatan dengan khitosan.



Gambar 1. Spektrum FTIR dari khitosan (merah) dan khitosan berikatan silang epiklorohidrin (biru toska)



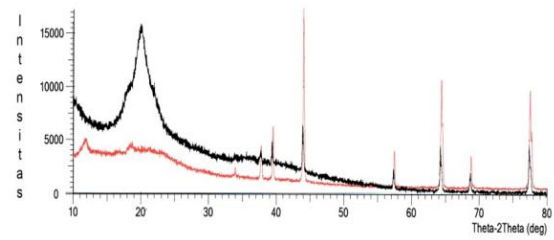
Gambar 2. Reaksi khitosan berikatan silang epiklorohidrin (Tirtom dkk., 2012).

Adapun reaksi ikat silang antara khitosan dan epiklorohidrin digambarkan pada Gambar 2. Reaksi ikat silang antara khitosan dengan epiklorohidrin dalam suasana asam (asam asetat 2% v/v) melalui ikatan kovalen antara atom karbon dari epiklorohidrin dengan gugus hidroksil dari khitosan dengan cara cincin epoksida dari epiklorohidrin putus dan melepaskan atom klorin (Laus dkk., 2010) karena gugus reaktif dari epiklorohidrin ada pada cincin epoksida dan klor.

3.2. Sifat Kristalin Khitosan

Sifat kristalin khitosan dapat dilihat melalui hasil analisis XRD, berdasarkan difraktogram pada Gambar 3. Dimana pada sudut $2\theta = 20^\circ$ yang khas untuk khitosan yaitu relatif bersifat kristal, sebagaimana yang pernah dilaporkan oleh Mishara dan Sharma (2011) dan Salah dkk. (2013). Sedangkan difraktogram XRD khitosan berikatan silang epiklorohidrin menunjukkan penurunan sifat kristal dari khitosan menjadi lebih amorf.

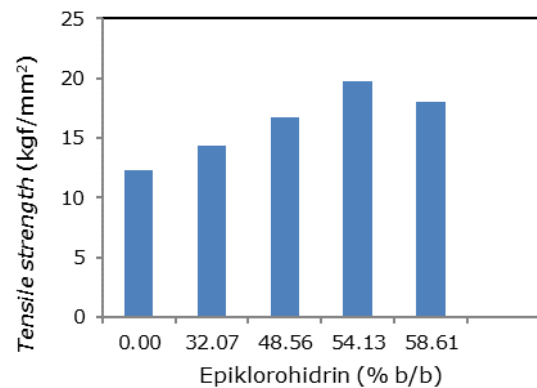
Rantai polimer khitosan pada fasa kristalin tersusun secara lebih teratur dan saling berdekatan sehingga kemungkinan ion Cd^{2+} untuk berinteraksi dengan gugus aktif khitosan menjadi lebih kecil, hal ini menyebabkan berkurangnya daya serap khitosan. Sedangkan khitosan berikatan silang epiklorohidrin bersifat amorf dimana rantai polimer khitosan tersusun secara tidak teratur dan saling berjauhan (membentuk pori) (Ariyani dkk., 2014). Akibatnya interaksi ion Cd^{2+} dengan gugus aktif khitosan menjadi lebih besar dan meningkatkan daya serap.



Gambar 3. Hasil analisis XRD dari khitosan (hitam) dan khitosan berikatan silang epiklorohidrin (merah).

3.3 Analisis Sifat Mekanik

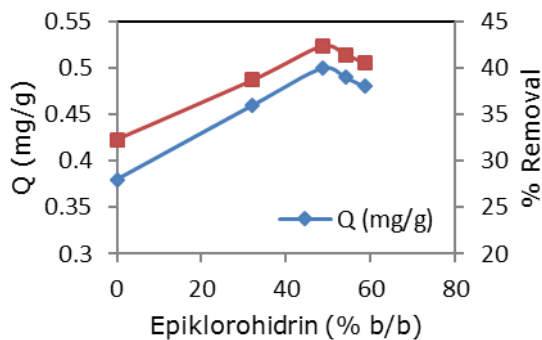
Hasil uji tarik dari khitosan dengan variasi epiklorohidrin dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 memperlihatkan bahwa khitosan murni mempunyai kekuatan tarik 12,30 kgf/mm², tetapi dengan penambahan epiklorohidrin dapat meningkatkan kekuatan tarikannya. Hal tersebut terjadi karena adanya epiklorohidrin menyebabkan terbentuknya ikat silang antar rantai polimer khitosan, sehingga khitosan berikatan silang epiklorohidrin tersebut tidak mudah putus (makin kuat). Semakin bertambah komposisi epiklorohidrin pada khitosan semakin bertambah pula kekuatan tariknya sampai pada komposisi epiklorohidrin optimum yaitu pada komposisi 54,128% b/b dengan kekuatan tarik sebesar 19,70 kgf/mm². Sedangkan jika komposisi epiklorohidrin di atas 54,128% b/b maka kekuatan tarikannya menurun menjadi 18 kgf/mm², hal tersebut terjadi karena semakin banyak ikat silang pada polimer khitosan maka polimer yang bersangkutan semakin rapuh, karena ikat silang yang terlalu banyak dapat mengurangi gerak pada rantai polimer sehingga menyebabkan rantai polimer kaku dan rapuh (Stevens, 1999).



Gambar 4. Hasil uji tarik terhadap variasi epiklorohidrin.

3.4 Uji Daya Serap Khitosan Berikatan Silang Epiklorohidrin

Uji daya serap khitosan berikatan silang epiklorohidrin terhadap ion Cd^{2+} dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan epiklorohidrin pada khitosan berikatan silang epiklorohidrin terhadap daya serap khitosan. Uji adsorpsi dilakukan menggunakan larutan ion Cd^{2+} 4,75 ppm dengan waktu kontak 30 menit. Hasil uji adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kapasitas penyerapan (Q) (sumbu Y) dan persen removal ion logam Cd^{2+} (Sumbu Z) pada variasi epiklorohidrin (Sumbu X).

Daya serap khitosan berikatan silang epiklorohidrin terhadap ion logam Cd^{2+} meningkat dengan bertambahnya epiklorohidrin sampai pada komposisi epiklorohidrin 48,56% b/b. Penyerapannya sedikit menurun jika komposisi epiklorohidrin terus dinaikkan. Penambahan epiklorohidrin pada khitosan akan mengakibatkan adanya jarak antar rantai polimer khitosan, sehingga antara rantai polimer khitosan dengan rantai polimer khitosan yang lainnya merenggang, menyebabkan khitosan menjadi berpori besar (Ariyani dkk., 2014). Kemungkinan memudahkan ion logam Cd^{2+} untuk berinteraksi dengan gugus aktif khitosan.

Jika epiklorohidrin terus ditingkatkan maka akan dapat mengurangi kemampuan khitosan menyerap ion logam Cd^{2+} karena berkurangnya gugus aktif OH (Hastuti dkk., 2016). Dimana gugus -OH digunakan untuk berikatan silang dengan epiklorohidrin, hal ini sesuai dengan yang pernah dilaporkan oleh Zaharah dkk. (2013). Komposisi optimum dari khitosan berikatan silang epiklorohidrin adalah 48,56% b/b epiklorohidrin yang dapat dilihat pada Gambar 5. Jika dibandingkan daya serap khitosan dengan khitosan berikatan silang epiklorohidrin terjadi peningkatan daya

serap dari 0,383 mg/g menjadi 0,503 mg/g atau terjadi peningkatan sebesar 31,33 %.

4. Kesimpulan

Khitosan berikatan silang epiklorohidrin telah berhasil dibuat dengan metode inversi fasa. Khitosan dimodifikasi dengan menggunakan epiklorohidrin sebagai pembentuk ikat silang. Hasil uji tarik menunjukkan *tensile strength* meningkat dengan penambahan epiklorohidrin dan optimum pada komposisi epiklorohidrin 54,128% (b/b). Hasil uji daya serap terhadap ion Cd^{2+} menunjukkan bahwa penambahan pembentuk ikat silang epiklorohidrin dapat meningkatkan daya serap khitosan terhadap ion Cd^{2+} , dan optimum pada komposisi epiklorohidrin 48,56% (b/b).

Daftar Pustaka

- Ahmad, M., Usman, A. R. A., Lee, S. S., Kim S. C., Joo, J. H. (2011) Eggshell and coral waste as low cost sorbents for the removal of Pb^{2+} , Cd^{2+} , and Cu^{2+} from aqueous solution, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18, 198 – 204.
- Ariyani, D., Santoso, U. T., Nurmasari, R., Iriansyah, Irawati, U. (2014) Kajian pengaruh jenis *crosslinker* dan pH terhadap *swelling ratio* khitosan makropori, *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 20 September 2014, 126 – 135.
- Barakat, M. A. (2011) New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, *Arabian Journal of Chemistry*, 4(17), 361 – 377.
- Hastuti, B., Masykur, A., Hadi, S. (2016) Modification of chitosan by swelling and crosslinking using epichlorohydrin as heavy metal Cr (VI) adsorbent in batik industry wastes, *IOP Publishing, Series: Materials Science and Engineering*, 107, 1 – 9.
- Karnib, M., Ahmad, K., Hanafy, H., Zakia, O. (2014) Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite, *Energy Procedia*, 50(8), 113 – 120.
- Kurniasih, M., Kartika, D. (2011) Sintesis dan karakterisasi fisika-kimia khitosan. *Jurnal Inovasi*, 5(1), 42 – 48.

- Laus, R., Costa, T. G., Szpoganicz, B., Favere, V. T. (2010) Adsorption and desorption of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions using chitosan crosslinked with epichlorohydrin-triphosphate as the adsorbent, *Journal of Hazardous of Material*, 183, 233 – 241.
- Madjid, A., Nitsae, M., Atikah, Sabarudin, A. (2015) Pengaruh penambahan tripolyfosfat pada kitosan beads untuk adsorpsi methyl orange, *Jurnal MIPA*, 30(2), 144 – 149.
- Mishara A. K., Sharma A. K. (2011) Synthesis of γ -cyclodextrin/chitosan composite for the efficient removal of Cd (II) from aqueous solution, *International Journal of Biological Macromolecules*, 49, 504 – 512.
- Mohammad, A. M., Taher A., Salah, E., Mohammed, A. H., Bahgat, E. E. A. (2015) Efficient treatment of lead-containing wastewater by hydroxyapatite/chitosan nanostructures, *Arabian Journal of Chemistry*, 14, 1878 – 5352.
- Pandey, S., Tiwari, S. (2015) Facile approach to synthesize chitosan based composite-characterization and cadmium (II) ion adsorption studies, *Carbohydrate Polymers*, 134, 646 – 656.
- Rahmi, Fathurrahmi, Irwansyah, Purnaratrie, A. (2015) Comparative adsorption of Fe (III) and Cd (II) ions on glutaraldehyde crosslinked chitosan-coated cristobalite, *Oriental Journal of Chemistry*, 31(4), 2071 – 2076.
- Rao, K. S., Mohapatra, M., Anand, S., Venkateswarlu, P. (2010) Review on cadmium removal from aqueous solutions, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(23), 81 – 103.
- Shahata, M. M. (2012) Adsorption of some heavy metal ions by used different immobilized substances on silica gel, *Arabian Journal of Chemistry*, 9, 755 – 763.
- Salah, A. T., Mohammad, A. M., Hasan M. A. (2013) Development of nano-hydroxyapatite/chitosan composite for cadmium ions removal in wastewater treatment, *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, 1571 – 1577.
- Setiani, W., Sudiati, T., Rahmidar, L. (2013) Preparasi dan karakterisasi *edible film* dari poliblend pati-sukun-kitosan. *Valensi*. 3(10), 100 – 109.
- Stevens, M. P. (1999) *Polymer Chemistry An Introduction*, Oxford University Press, West Hartford, New York.
- Suhartini, M. (2013) Modifikasi limbah kulit pisang untuk adsorben ion logam Mn(II) dan Cr(IV), *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14, 229-234.
- Tirtom, V. N., Dincer, A., Bacerik, S., Aydemir, T., Celik, A. (2012) Comparative adsorption of Ni (II) and Cd (II) ion on epichlorohydrin crosslinked chitosan – clay composite beads in aqueous solution, *Chemical Engineering Journal*, 197, 379 – 386.
- Tran, C. D., Simon, D., Delneri, A., Franco, M. (2013) Chitosan-cellulose composite materials: preparation, characterization and application for removal of microcystin, *Journal of Hazardous Materials*, 15, 355 – 366.
- Utami, Z. D., Fansuri, H. (2014) Pembuatan membran perovskit CaTiO_3 dengan metode inversi fasa menggunakan polieterimida dan aditif poli etilen glikol, *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2, 1 – 4.
- Wu, F. C., Tsengand, R. L., Juang, S. J. (2001) Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes and metal ion on chitosan, *Wat Res*, 35(6), 613 – 618.
- Zaharah, T. A., Shofiyani, A., Sayekti, E. (2013) Kinetika adsorpsi ion Cr(III) pada biomassa-kitosan imprinted ionik, *Prosiding FMIPA Universitas Lampung*, 2013, 413 – 415.
- Zewail, T. M., Yousef, N. S. (2015) Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed, *Alexandria Engineering Journal*, 54(8), 83 – 90.