



Efek Komposisi Bioadsorben α -Keratin/Alginat Terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe)

Elsa Ninda Karlinda Putri^{a*}, Syahna Febrianastuti^a, Easy Vicky Maylinda^a, Ganjar Fadillah^b, Candra Purnawan^a

^a*Kimia Analitik, Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan Surakarta 57126 telp. (0271) 663375*

^b*Kimia Analitik, FMIPA, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang 14,5, Sleman Yogyakarta 55584*

* *Corresponding author*

E-mail: elsaninda22@student.uns.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.14.2.11410.323-333

Received 03 June 2017, Accepted 06 August 2018, Published Online 03 September 2018

ABSTRAK

Penelitian terkait pengaruh komposisi α -keratin/alginate terhadap kapasitas adsorpsi logam berat besi (Fe) telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter dan optimasi adsorpsi dari bioadsorben komposit α -keratin/alginate terhadap daya serap logam berat Fe dalam larutan air. Proses preparasi bioadsorben α -keratin/alginate dilakukan dengan metode enkapsulasi pada larutan CaCl_2 2% (b/v). Karakterisasi bioadsorben dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan proses adsorpsi dilakukan dengan metode *batch*. Hasil karakterisasi IR pada komposit α -keratin/alginate menunjukkan terdapatnya serapan pada bilangan gelombang $1140\text{-}820,75\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan reduksi gugus *mannuronate* dari alginate. Hal ini menunjukkan bahwa alginate telah terikat secara kimia dengan α -keratin. Adsorpsi logam Fe (3 ppm) dalam larutan dilakukan dengan variasi komposisi α -keratin:alginate secara berturut-turut sebagai berikut 1:1; 1:2; 1:3; 2:1 dan 3:1 (b/b). Hasil pengukuran menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dengan metode kurva kalibrasi standar menunjukkan komposisi optimum penyerapan logam Fe (3 ppm) adalah 1:2 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 205,64 mg/g. Hasil karakterisasi SEM pada komposit α -keratin:alginate komposisi 1:2 (b/b) yang memberikan kemampuan adsorpsi yang terbesar menunjukkan bahwa permukaan rambut manusia tidak tertutup secara menyeluruh sehingga gugus aktif dan celah-celah kecil pada komposit dapat berperan dalam proses adsorpsi logam berat besi (Fe).

Kata Kunci: adsorpsi, komposit α -keratin/alginate, logam berat Fe

ABSTRACT

The Effect of α -Keratin/Alginate Bioadsorbent Composition on the Adsorption Capacity of Heavy Metal of Iron (Fe). A study of the influence of α -keratin-alginate composition on the heavy metal adsorption of Fe has been performed. The research aims to determine the character and adsorption optimization of α -keratin/alginate composite for Fe adsorption in aqueous solution. The preparation α -keratin/alginate composite was conducted by encapsulation method in CaCl_2 2% solution. The characterization of bioadsorbent was performed by *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) and adsorption process was conducted by batch method. The FTIR result on α -keratin/alginate shows that adsorption at wavenumber of $1140\text{-}820.75\text{ cm}^{-1}$ which indicates the reduction of mannuronate group from alginate. This suggests that alginate was chemically bound with α -keratin. The adsorption of Fe (3 ppm) in the solution was carried out with variation of composition α -keratin:alginate of 1:1; 1:2; 1:3; 2:1; and 3:1 (w/w). The measurement using AAS (atomic absorption spectroscopy) with standar calibration curve method showed that

optimum composition of Fe (3 ppm) adsorption was 1:2 (w/w) with adsorption capacity of 205.64 mg/g. The SEM result on α -keratin/alginate 1:2 (w/w) which had the greatest adsorption capability shows that the surface of human hair was not completely closed thus the active groups and pores can play a role in the process of adsorption of heavy metal iron (Fe).

Keyword: adsorption, eco-friendly biomaterials, Fe heavy metal, α -keratin/alginate

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri merupakan salah satu faktor agar dapat bersaing di era global saat ini. Menurut Kementerian Perindustrian, pertumbuhan industri pada tahun 2016 mencapai 5,7%, lebih tinggi dibanding pertumbuhan ekonomi periode di tahun 2014 dan 2015 (Kementerian Perindustrian, 2016). Pertumbuhan industri tersebut menyebabkan munculnya masalah yang terkait dengan pencemaran lingkungan. Salah satu jenis cemaran hasil dari proses industri adalah cemaran logam berat Fe seperti pada air sumur dekat pembuangan limbah industri tekstil. Kadar logam berat seperti Fe yang tinggi dalam limbah air dapat menyebabkan efek buruk bagi lingkungan dan kehidupan manusia seperti menimbulkan bau, warna, dan koloid pada air minum yang dapat menyebabkan rasa mual dan sakit perut (Putra *et al.*, 2014). Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010 TANGGAL 19 April 2010 tentang persyaratan kualitas air minum, kadar Fe dalam air minum yang diperbolehkan hanya 0,3 mg/L (Kemenkes RI, 2010).

Penelitian terkait metode penghilangan kandungan Fe dalam air sudah banyak dilakukan salah satunya menggunakan teknik adsorpsi (Mandasari *and* Purnomo, 2016). Beberapa adsorben yang telah berhasil dikembangkan sebagai adsorben Fe antara lain karbon aktif (Bahtiar *et al.*, 2015), zeolit alam (Munandar, 2014), kitosan-bentonit (Permanasari *et al.*, 2010) dan nanopartikel CoFe_2O_4 (Nurdila *et al.*, 2015).

Adsorben-adsorben berbasis senyawa anorganik dapat memberikan kinerja yang bagus, tetapi adsorben berbasis senyawa anorganik ini juga memiliki kelemahan yaitu pada proses sintesis sulit dilakukan serta memerlukan biaya yang cukup besar. Sementara adsorben bahan alam memiliki kinerja yang bagus serta memerlukan biaya yang lebih terjangkau dari pada adsorben berbasis senyawa anorganik (Firdaus, 2012).

Perkembangan riset tentang adsorben saat ini sedang banyak menggunakan material berbasis bahan organik dengan prinsip dari limbah untuk limbah seperti α -keratin. Sumber α -keratin banyak sekali seperti dalam bulu ayam dan rambut manusia. Kandungan kimia utama rambut adalah 88-96% protein α -keratin (Mitsui, 1992). Hal ini menunjukkan bahwa α -keratin memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Surya (2015) telah melakukan

eksperimen mengenai pemanfaatan limbah rambut manusia sebagai adsorben pencemaran minyak di lautan. Protein α -keratin mampu bertindak sebagai adsorben karena memiliki ikatan disulfida (R-SH), gugus fungsi hidroksil (R-OH), karbonil (R-CO-R) dan amino (R-NH₂). Oleh karena itu, rambut manusia memiliki pasangan elektron kuat seperti nitrogen, oksigen dan sulfida yang memungkinkan terjadinya proses adsorpsi kimia karena pasangan elektron tersebut dapat berkoordinasi dengan ion logam berat Fe yang bermuatan positif dan permukaannya memiliki celah-celah kecil yang mengakibatkan terjadinya adsorpsi secara fisika pada permukaan rambut (Roh *et al.*, 2014). Ikatan disulfida terbentuk dari dua molekul asam amino sistein (Mahdavian, 2014), yang menyebabkan rambut manusia memiliki sifat mekanik yang kuat, daya tahan termal dan ketahanan terhadap degradasi fisikokimia dari lingkungan yang baik (Lin *et al.*, 1992), namun peningkatan ketahanan fisik rambut manusia diperlukan agar dapat tahan terhadap benturan dan kerusakan lingkungan saat diaplikasikan secara langsung di lingkungan. Selain itu, kapasitas adsorpsi rambut manusia terhadap logam berat masih rendah. Oleh karena itu, perlu adanya modifikasi untuk peningkatan ketahanan fisik dan kapasitas adsorpsi rambut seperti perlindungan biomaterial rambut manusia membentuk suatu komposit.

Bahan yang dapat dijadikan sebagai pelindung biomaterial rambut manusia adalah alginat (Hartrianti *et al.*, 2016). Alginat memiliki banyak gugus hidroksil (R-OH) dan karboksil (R-CO-R) yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi logam berat Fe (Zhao *et al.*, 2017). Komposit bioadsorben rambut-alginat dibentuk dengan metode enkapsulasi menggunakan larutan CaCl₂ 2% yang mengandung konsentrasi kationik tinggi. Menurut Frianda (2012), salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan suatu material komposit dalam proses adsorpsi adalah komposisi antara α -keratin dan alginat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikaji tentang pengaruh komposisi α -keratin dengan alginat untuk adsorpsi logam berat Fe.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain serbuk rambut manusia, Na-alginat teknis, NaOH 1M (Merck), HCl 37,5% p.a (Merck), HNO₃ 65% p.a (Merck), CaCl₂ (Merck), Larutan standar Fe 1000 ppm (Fe₂(SO₄)₃), air deterjen ionik (merk Rinso), aseton p.a (Merck) dan aquades. Alat-alat yang digunakan antara lain penggilingan tepung, ayakan 180 mesh, pH meter, *shaker* Ogawa Seiki OSK 6445, neraca analitik listri Mettler PB 3000 ER-182 A, oven Memmert dan seperangkat alat gelas.

Preparasi α -keratin rambut

Rambut yang diperoleh dari beberapa *barbershop* di Wonogiri dan Surakarta, dicuci dengan air deterjen ionik (merk Rinso) beberapa kali dan dijemur hingga kering. Kemudian, rambut digiling hingga halus pada ukuran 200 mesh. Serbuk rambut yang diperoleh dicuci dengan aseton p.a (Merck) selama 30 menit dan disaring dengan kertas saring whatman. Kemudian residu dikeringkan dengan oven pada suhu 40 °C selama 30 menit.

Pembuatan komposit α -keratin/alginat

Serbuk rambut dan Na-alginat dengan perbandingan Rambut/Na-Alginat (R/A) 1/1, 1/2, 1/3, 2/1 dan 3/1 (b/b) dimasukkan pada gelas beker. Kemudian ditambahkan aquades 25 mL dan diaduk hingga Na-alginat larut. Larutan campuran serbuk rambut dan Na-alginat kemudian dienkapsulasi dengan larutan CaCl₂ 2% yang direndam dalam es batu. Hasil enkapsulasi berupa komposit α -keratin/alginat disaring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C selama 8 jam (Sillerová *et al.*, 2015). Komposit α -keratin/alginat dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui ikatan dari komposit material dan SEM untuk mengetahui morfologi permukaan komposit α -keratin/alginat

Proses adsorpsi ion logam berat Fe³⁺ dengan komposit α -keratin/alginat

Larutan ion logam berat Fe³⁺ (Fe₂(SO₄)₃) 3 ppm disiapkan dengan cara mengencerkan larutan Fe standar 1000 ppm dalam 100 mL. Kemudian larutan ion Fe³⁺ 3 ppm ditambahkan 0,1 gram komposit α -keratin/alginat dan diaduk menggunakan *shaker* selama 1 jam. Kemudian larutan tersebut disaring. Filtrat yang diperoleh diukur kadar ion logam berat Fe³⁺ sisa yang tidak teradsorpsi dengan menggunakan AAS dan ditentukan kapasitas adsorpsi maksimal ion logam berat Fe³⁺ menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut:

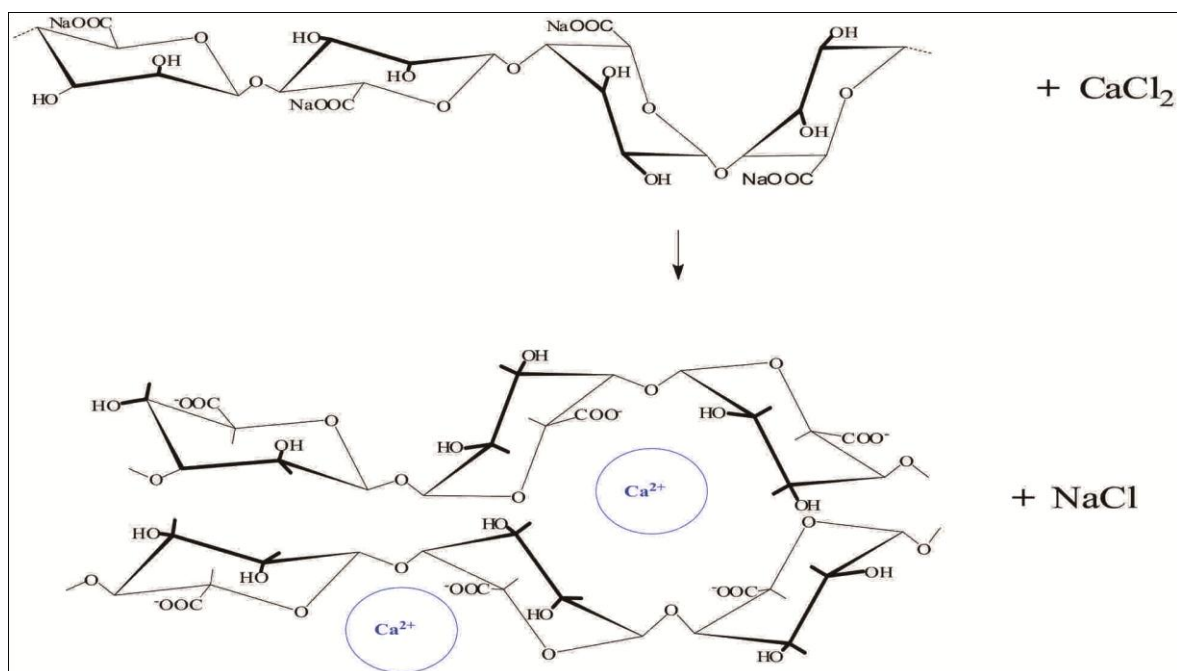
$$\text{Kapasitas Adsorb } (qe) = \frac{(C_{awal} - C_{akhir}) \times V_{larutan}}{\text{massa adsorben}} \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

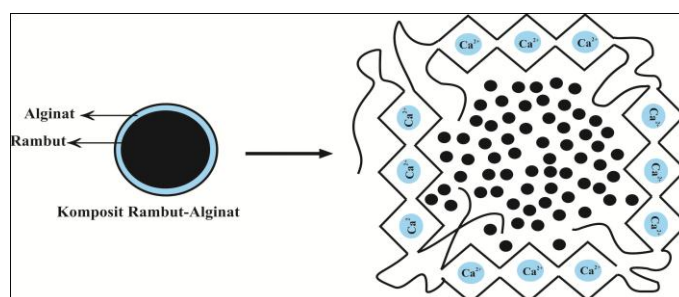
Enkapsulasi keratin dengan alginat dan karakterisasi

Metode enkapsulasi ini dilakukan dengan menggunakan larutan CaCl₂ 2% yang berfungsi sebagai larutan kationik untuk membentuk komposit α -keratin/alginat (Zheng *et al.*, 2017). Proses enkapsulasi akan menyebabkan adanya pertukaran ion antara ion Ca²⁺ dari larutan CaCl₂ 2% dengan ion Na⁺ dari Na-Alginat yang akan membentuk *crosslinking* pada blok G-G dan M-G dari alginat (Paredes Juárez *et al.*, 2014). Interaksi antara Ca²⁺ dengan alginat akan membentuk struktur 3D yang disebut dengan model “*egg-box*”. Rambut akan terlindungi dalam model “*egg-box*” membentuk komposit bioadsorben rambut-alginat yang

dapat digunakan sebagai bioadsorben logam berat Fe dengan adanya peningkatan ketahanan fisik dan kapasitas adsorpsi (Zhao *et al.*, 2017). Ilustrasi reaksi pembentukan *egg box* dapat dilihat pada Gambar 1 dan komposit α -keratin/alginat dapat dilihat pada Gambar 2.

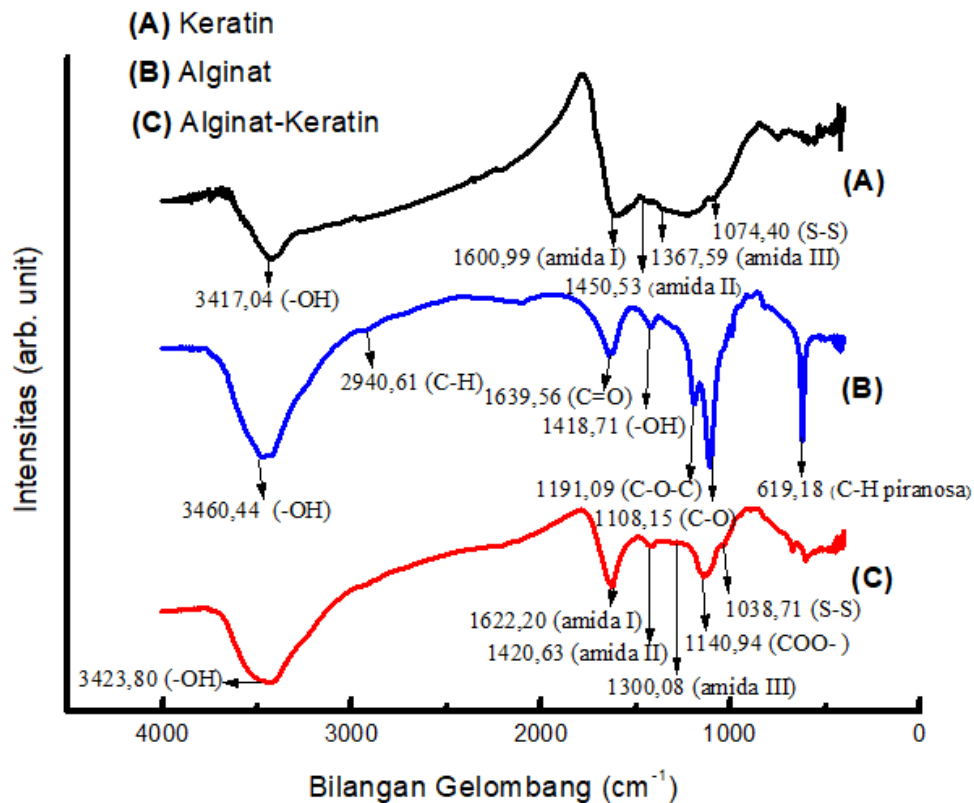


Gambar 1. Reaksi pembentukan *egg box* (Paredes Juárez *et al.*, 2016).



Gambar 2. Komposit α -keratin/alginat.

Komposit α -keratin/alginat tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR. Karakterisasi rambut, alginat dan komposit α -keratin/alginat dapat diketahui dari vibrasi yang dihasilkan oleh gugus fungsional pada serapan IR seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektra FTIR (A) Keratin, (B) Alginat, dan (C) bioadsorben α -keratin/alginat.

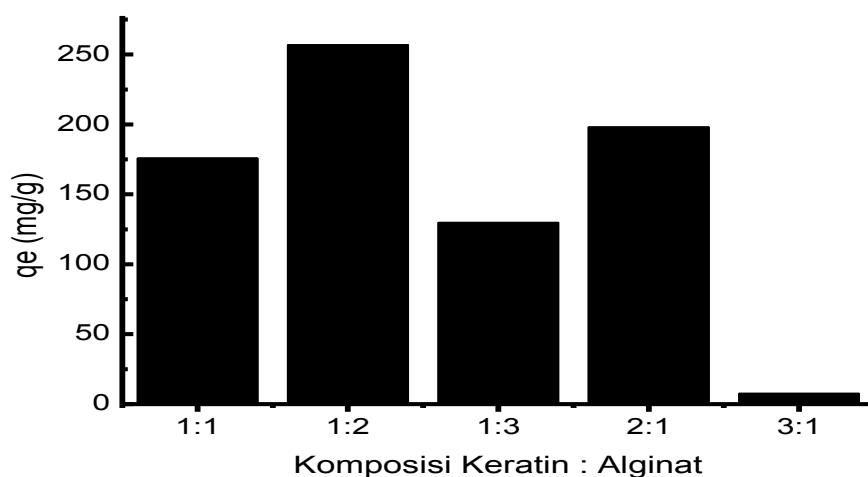
Spektra FTIR pada keratin dan α -keratin/alginat menunjukkan terdapat serapan vibrasi ikatan OH *stretching* pada bilangan gelombang 3471,04 dan 3423,80 cm^{-1} . Selain itu, terdapat serapan karakteristik ikatan peptida (-CONH-) dengan tiga daerah serapan yaitu Amida I, Amida II, dan Amida III. Daerah serapan amida I menunjukkan adanya serapan vibrasi C=O *stretching* pada bilangan gelombang 1600,99 dan 1622,20 cm^{-1} (Kim, *et al.*, 2013). Daerah amida II menunjukkan adanya serapan vibrasi C-N *stretching* dan N-H *bending* pada bilangan gelombang 1450,53 dan 1420,63 cm^{-1} (Cardamone, 2010). Daerah amida III menunjukkan adanya serapan vibrasi N-H *bending*, C-N *stretching* pada ikatan O=C-N dengan bilangan gelombang 1367,59 dan 1300,08 cm^{-1} (Baddiel, 1968). Pada keratin dan komposit α -keratin/alginat juga terdapat serapan gugus disulfida (S-S) di daerah bilangan gelombang 1074,40 dan 1038,10 cm^{-1} .

Puncak serapan inframerah yang paling karakteristik dalam asam alginat ditunjukkan dengan adanya serapan gugus C-O-C glikosida di daerah bilangan gelombang 1191,09 cm^{-1} dan serapan gugus alkil (C-H) khas piranosa pada bilangan gelombang 991,45- 619,18 cm^{-1} (Arifudin, 2002). Pada analisis FTIR ini, juga menunjukkan serapan gugus C-O alkohol pada bilangan gelombang 1108,15 cm^{-1} , serapan gugus C-H alkana *stretching* pada bilangan gelombang 2940,61 cm^{-1} ; dan serapan gugus karbonil (C=O) pada bilangan gelombang

1639,56 cm^{-1} (Kosman, 2011). Komposit bioadsorben rambut-alginat juga menunjukkan terdapatnya serapan pada bilangan gelombang 1600 cm^{-1} yaitu serapan gugus mannuronat dan gugus guluronat (COO^-) dari alginat yang memiliki intensitas puncak lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembentukan ikatan silang antara ion Ca^{2+} dari CaCl_2 dengan Na^+ -alginat pembentukan komposit bioadsorben rambut-alginat telah berhasil (Hartrianti *et al.*, 2016).

Penentuan adsorpsi ion logam berat Fe^{3+} dengan komposit α -keratin/alginat pada variasi komposisi berat rambut dan alginat

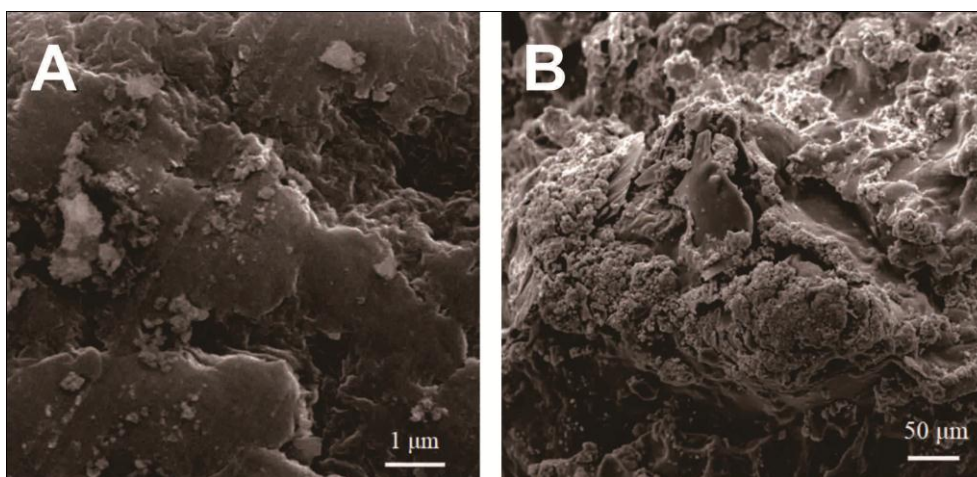
Capaian kedua adalah pengujian bioadsorben untuk penyerapan ion logam berat Fe^{3+} di dalam larutan air. Secara fisik, jumlah komposisi alginat mempengaruhi kekerasan dari kapsul kasil proses enkapsulasi. Hal ini disebabkan, karena semakin banyak ion Na^+ yang bertukar dengan ion Ca^{2+} maka kekerasan semakin meningkat (Sillerová *et al.*, 2015). Namun, jika semakin banyak alginat terkandung dalam komposit belum pasti akan menghasilkan proses adsorpsi yang optimal. Hal ini dipengaruhi oleh adanya faktor kerapatan dari komposit yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pengujian variasi komposisi antara α -keratin dengan alginat untuk mengetahui komposisi komposit α -keratin/alginat yang paling optimum untuk adsorpsi. Hasil analisis adsorpsi ion logam berat Fe^{3+} dengan variasi komposisi komposit α -keratin/alginat disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh Komposisi Komposit α -keratin/alginat Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Berat Fe^{3+} .

Komposisi antara rambut dan alginat mempengaruhi kapasitas adsorpsi terhadap ion logam berat Fe^{3+} , dimana diduga semakin besar komposisi alginat yang diberikan maka kerapatan dari komposit α -keratin/alginat semakin berkurang. Semakin kecil kerapatan

mengakibatkan tertutupnya permukaan rambut oleh alginat semakin besar sehingga kapasitas adsorpsi komposit α -keratin/alginat semakin rendah. Namun apabila komposisi alginat yang diberikan sedikit maka kapasitas adsorpsi yang dimiliki oleh komposit α -keratin/alginat berkurang. Gambar 4 menunjukkan bahwa komposisi antara α -keratin dari rambut dengan alginat sebesar 1:2 (b:b) memiliki kapasitas adsorpsi terhadap logam berat Fe^{3+} terbesar yaitu 257,05 mg/g. Hal ini menunjukkan pembentukan komposit α -keratin/alginat mempengaruhi kerapatan dari adsorben yang dapat dilihat pada karakterisasi menggunakan SEM (Gambar 5).



Gambar 5. Hasil Analisis SEM (A) alginat dan (B) komposit α -keratin/alginat.

Gambar 5(a) dan 5(b) menunjukkan berturut-turut morfologi dari alginat dan komposit α -keratin/alginat. Hasil karakterisasi SEM ini menunjukkan bahwa penggabungan α -keratin dan alginat menghasilkan perubahan morfologi adsorben. Permukaan komposit α -keratin/alginat komposisi 1:2 (b/b) sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5(B), memperlihatkan morfologi yang lebih kasar. Hal ini diyakini berpengaruh pada adsorpsi Fe^{3+} pada permukaan komposit adsorben karena diduga gugus aktif dalam komposit α -keratin/alginat 1:2 (b/b) yaitu $-\text{OH}$, COO^- , $-\text{NH}$, $\text{C}=\text{O}$, $-\text{CN}$ dan S-S lebih banyak daripada komposisi yang lain sehingga interaksi antara gugus fungsi aktif dengan ion logam Fe^{3+} pada permukaan komposit α -keratin/alginat menjadi lebih besar dan kapasitas adsorpsi meningkat.

KESIMPULAN

Komposisi antara α -keratin dari rambut dengan alginat mempengaruhi kerapatan dari komposit α -keratin/alginat. Semakin besar komposisi alginat yang diberikan maka permukaan rambut manusia yang memiliki gugus fungsi dan celah-celah kecil akan tertutupi

oleh alginate, sedangkan semakin kecil komposisi alginat yang diberikan maka gugus fungsi yang berperan dalam proses adsorpsi sedikit. Komposisi antara α -keratin dari rambut dengan alginat sebesar 1:2 (b/b) dengan kapasitas adsorpsi sebesar 257,05 mg/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI (Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi) atas bantuan dana melalui hibah PKM (Program Kreativitas Mahasiswa) 2017 serta fasilitas laboratorium dan instrument analisis dalam proses penyelesaian riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifudin., 2002. Pembuatan Natrium Alginat Dari Alga Coklat (*Sargassum Filipendula C. Agarth*) Dengan Menggunakan Pelarut Organik. *Skripsi*. Universitas Lampung, Lampung.
- Baddiel, D.B., 1968. Structure and Reaction of Human Hair Keratin: an Analysis by Infrared Spectroscopy, *Journal of Molecular Biology* 38, 181-199. doi: 10.1016/0022-2836(68)90405-1.
- Bahtiar, A., Faryuni, I.D., and Jumarang, M.I., 2015. Adsorpsi Logam Fe Menggunakan Adsorben Karbon Kulit Durian Teraktivasi Larutan Kalium Hidroksida, *PRISMA FISIKA* 3(1), 5–8.
- Cardamone, J.M., 2010. Investigating The Microstructure of Keratin Extracted From Woll: Peptide Sequence (MALDI-TOF/TOF) and Protein Conformation (FTIR), *Journal of Molecular Structure* 969(3), 97-105. doi: 10.1016/j.molstruc.2010.01.048.
- Firdaus, M.L., 2012. Studi Perbandingan Berbagai Adsorben Sintesis dan Alami untuk Mengikat Logam Berat, *Artikel Ilmiah*. Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Frianda, R.A., 2012. Sintesis Komposit Kitosan/Polimetil Metakrilat/Montmorillonite Sebagai Adsorben Zat Warna, *Skripsi*. Universitas Indonesia, Depok.
- Hartrianti, P., Nguyen, L.T.H., Johannes, J., Chou, S.M., Zhu, P., Tan, N.S., Tang, M.B.Y., and Ng, K.W. 2016. Fabrication and Characterization of a Novel Crosslinked Human Keratin- Alginate Sponge, *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine* 11(9), 2590-2602. doi: 10.1002/term.2159.
- Kemenkes RI No. 492/Menkes/PER/IV/2010.
- Kementrian Perindustrian. 2016. *Target Pertumbuhan Industri 5,7%*. <<http://kemenperin.go.id/artikel/13740/Tahun-2016,-Target-Pertumbuhan-Industri-5,7-Persen>> (diakses pada 10 November 2016).
- Kim, K.S., Shin, M.K and Park, H.K., 2013. Effect of Scalp Dermatitis on Chemical Property of Hair Keratin, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 109, 226-231. doi: 10.1016/j.saa.2013.02.009.
- Kosman, R. 2011. Pemurnian Natrium Alginat Dari *Sargassum Duplicatum J.G. Agardh*, *Turbinaria Decurrens (Bory)* Dan *Turbinaria Ornata (Turner) J. Argardh* Asal Perairan Ternate, Maluku Utara, *Majalah Farmasi dan Farmakologi* 5(1), 30-34.

- Lin, X., Lee, C.G., Casale, E.S., and Shih, J.C.H., 1992. Purification And Characterization of a Keratinase from a Feather-Degrading *Bacillus licheniformis* Strain, *Applied and Environmental Microbiology* 58(10), 3271-3275.
- Mahdavian, L., 2014. Simulation of Heavy Metal Removal by α -Keratin Nano-Structure of Human Hair From Environment, *Journal of Environmental Treatment Techniques* 2(2), 31-35.
- Mandasari, I., and Purnomo, A. 2016. Penurunan Ion Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air dengan Serbuk Gergaji Kayu Kamper, *Jurnal Teknik ITS* 5(1), 1-5. doi: 10.12962/j23373539.v5i1.15113.
- Mitsui, T., 1992. *New Cosmetic Science*. Amsterdam: Elsevier Science B. V .
- Munandar, A., 2014. Adsorpsi Logam Pb dan Fe Dengan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat, *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Nurdila, F.A., Asri, N.S., and Suharyadi, E., 2015. Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe_2O_4), *Jurnal Fisika Indonesia* 19(55), 23-27.
- Paredes Juárez, G.A., Spasojevic, M., Faas, M.M., and de Vos, P., 2014. Immunological and Technical Consideration in Application of Alginate-Based Microencapsulation System, *Bioengineering and Biotechnology* 2(26), 1-15. doi: 10.3389/fbioe.2014.00026.
- Permanasari, A., Siswaningsih, W., and Wulandari, I., 2010. Uji Kinerja Adsorben Kitosan-Bentonit Terhadap Logam Berat dan Diazinon Secara Simultan, *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia* 1(2), 121-134.
- Putra, D.E., Astuti, F.P and Suharyadi, E., 2014. Studi Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) Pada Limbah Batik dengan Sistem Purifikasi Menggunakan Adsorben Nanopartikel Magnetic (Fe_3O_4), *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFISSN : 0853-0823*.
- Roh, H.G., Kim, S.G., and Jung, J., 2014. Adsorption of Heavy Metal Ions (Pb^{2+} , Cu^{2+}) on Perm-Lotion-Treated Human Hair, *Korean Journal of Chemical Engineering* 31(2), 310-314. doi: 10.1007/s11814-013-0222-5.
- Sillerová, H., Komárek, M., Liu, C., Poch, J., and Vilaescusa, I., 2015. Biosorbent Encapsulation in Calcium Alginate: Effects of Process Variables on Cr(IV) Removal From Solutions, *International Journal of Biological Macromolecules* 80, 260-270. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.06.032.
- Surya, S.A., 2015. Pemanfaatan Limbah Rambut Manusia Sebagai Pelampung Adsorben Pencemaran Minyak di Lautan, *Karya Tulis Ilmiah*. Universitas Sebelas Maret.
- Zhao, X., Wang, H., Peng, H., Wang, L., Lu, X.H., Huang, Y.J., Chen, J., Chao, T.K., 2017. Buoyant ALG/HA/HGMs Composite Adsorbents for Highly Efficient Removal of Copper from Aqueous Solution and Contaminated Kaolin Soil, *Chemical Engineering Journal* 327, 244-256. 10.1016/j.cej.2017.06.085.
- Zheng, X.M., Dou, J.F., Xia, M., Ding, A.Z., 2017. Ammonium-Pillared Montmorillonite- CoFe_2O_4 Composite Caged in Calcium Alginate Beads for the Removal of Cs^+ from Wastewater, *Carbohydrat Polymers* 167, 306-316. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.03.059.