

**EFEK KOMPOSISI BIOADSORBEN α -KERATIN ALGINAT TERHADAP
KAPASITAS ADSORPSI LOGAM BERAT BESI (Fe)**

**(EFFECT OF α -KERATIN ALGINATE BIOADSORBENT COMPOSITION FOR
CAPACITY ADSORPTION OF IRON HEAVY METAL IRON(Fe))**

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

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

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

*email: elsaninda22@student.uns.ac.id

ABSTRAK

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

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

ABSTRACT

A study of the influence of α -keratin-alginate composition for heavy metal adsorption of Fe has been performed. The research aims to determinate 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 bioadsorben was performed by FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) and adsorption

process was conducted by batch method. The FTIR result on α -keratin-alginate shows that adsorption at wave number of 1140-820,75 cm^{-1} which indicates the reduction of mannuronate group from alginate. This suggests that alginate was chemically bonded with α -keratin. While the SEM results show that alginate was attached to α -keratin surface which produced α -keratin-alginate composite. The adsorption of Fe (3 ppm) in the solution were carried out with variation of composition α -keratin:alginate of 1:1; 1:2; 1:3; 2:1; and 3:1. The measurement using AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) with standar calibration curve method showed that optimum composition of Fe (3 ppm) adsorption was 1:2 with adsorption capacity of 205,64 mg/g. A higher alginate composition will decrease the density there by increasing the adsorption of α -keratin-alginate composite on heavy metal. Based on this, α -keratin-alginate has a potential to be bioadsorbent.

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 disbanding 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 indsutri adalah cemaran logam berat Fe seperti pada air sumur dekat pembuangan limbah industri jeans . 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 KEMENKES RI 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 et al., 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 di kembangkan 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

Alat dan Bahan

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, air deterjen, aseton p.a (Merck) dan aquades. Sedangkan 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, alat dan seperangkat alat gelas.

Preparasi α -keratin rambut

Rambut yang diperoleh dari beberapa *barbershop* di Wonogiri dan Surakarta, dicuci dengan air deterjen ionik 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 (g/g) 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 (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengetahui ikatan dari komposit material dan SEM (*Scanning Electron Microscopy (SEM)*) untuk mengetahui morfologi permukaan komposit α -keratin-alginat

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

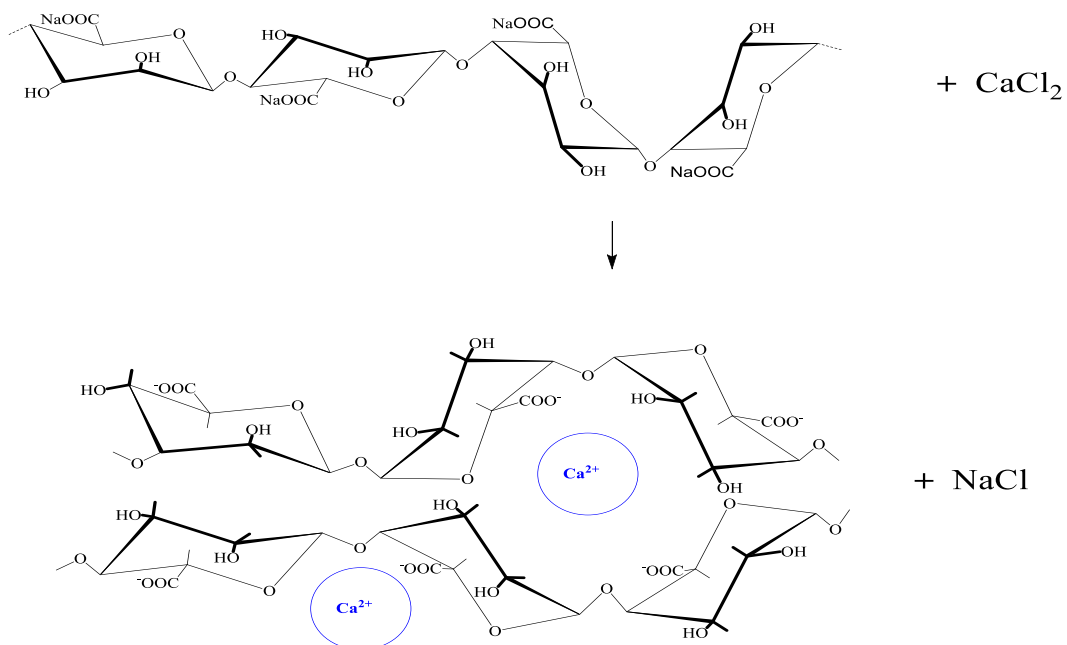
Larutan ion logam berat Fe³⁺ 3 ppm disiapkan dengan cara mengencerkan larutan Fe standar 1000 ppm dalam 100 mL. Kemudian larutan ion Fe³⁺ 3 ppm ditambahkan 0,1 gram komposit α -keratin-alginat dan diaduk menggunakan *shaker* selama 1 jam. Kemudian larutan tersebut disaring. Filtrat yang diperoleh diukur 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:

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

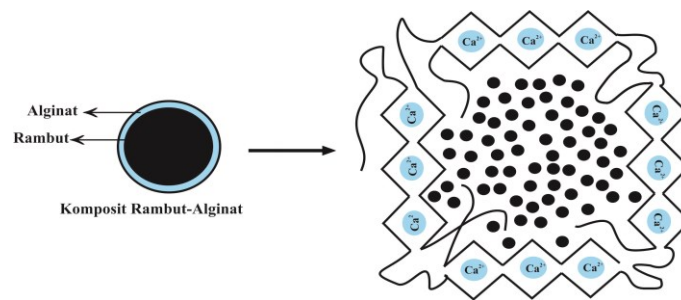
PEMBAHASAN

Enkapsulasi keratin dengan alginat dan karakterisasi

Metode enkapsulasi ini dilakukan dengan menggunakan larutan CaCl_2 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 Ca^{2+} dari larutan CaCl_2 2% dengan ion Na^+ dari Na-Alginat yang akan membentuk *crosslinked* pada blok G-G dan M-G dari alginat (Juárez *et.al.*, 2014). Interaksi antara Ca^{2+} dengan alginat akan membentuk struktur 3D yang disebut dengan model “*egg-box*”. Sehingga 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.

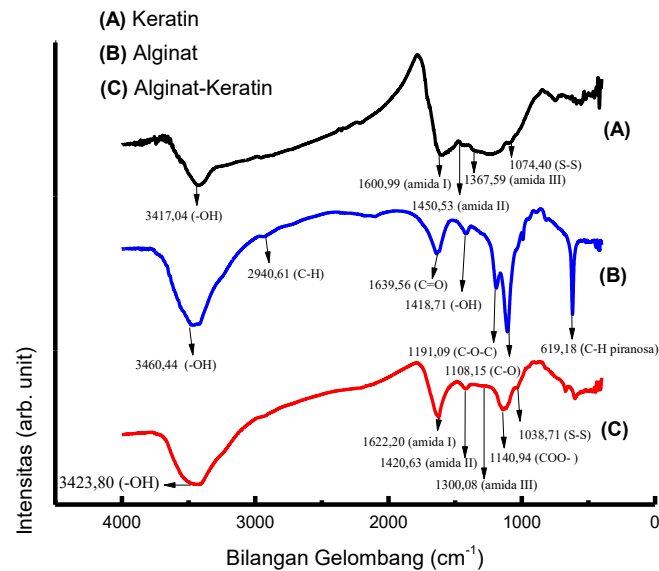


Gambar 1. Reaksi pembentukan *egg box* (Juárez et al., 2016).



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.



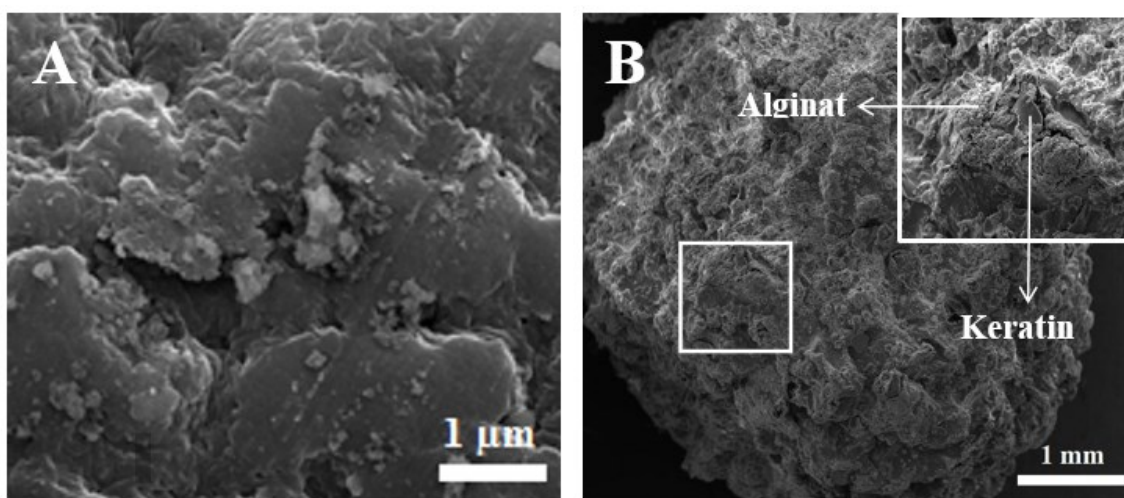
Gambar 3. Spektra FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) (A) Keratin, (B) Alginat, dan (C) bioadsorben α -keratin-alginat

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). Sedangkan, 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 1038,1 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; 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 *crosslinked* antara ion Ca^{2+} dari CaCl_2 dengan Na^+ -alginat pembentukan komposit bioadsorben rambut-alginat telah berhasil (Hartrianti *et.al.*, 2016).

Bioadsorben tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM. Karakterisasi dilakukan pada alginat dan komposit α -keratin alginat yang dapat dilihat pada Gambar 5.

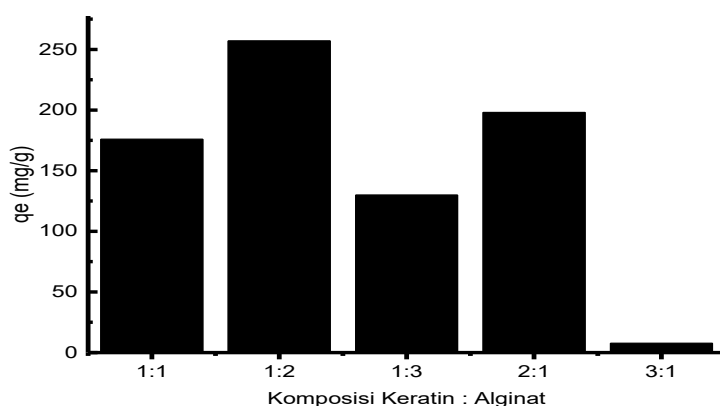


Gambar 4. Hasil Analisis SEM (a) alginat dan (b) komposit α -keratin-alginat

Gambar 4(b) menunjukkan adanya warna gelap dan terang pada komposit α -keratin-alginat. Warna terang tersebut menunjukkan permukaan alginat yang dibandingkan dengan Gambar 4(a) sebagai hasil analisis SEM pada alginat. Sedangkan warna gelap tersebut merupakan α -keratin. Hasil karakterisasi FTIR yang didukung dengan SEM menunjukkan bahwa komposit α -keratin alginat telah berhasil terbentuk.

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 5. 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 semakin besar komposisi alginat yang diberikan maka kekerasan dari komposit α -keratin-alginat semakin bertambah dan kerapatannya semakin mengecil. Sedangkan, semakin kecil kerapatan mengakibatkan tertutupnya rambut oleh alginat semakin besar sehingga kapasitas adsorpsi komposit α -keratin-alginat semakin rendah. Namun apabila komposisi alginat yang diberikan sedikit maka ketahanan fisik yang dimiliki oleh komposit α -keratin-alginat berkurang. Gambar 3 menunjukkan bahwa komposisi antara α -keratin dari rambut dengan alginat sebesar 1:2 (R:A) memiliki kapasitas adsorpsi terbesar yaitu $257,05 \text{ mg/gr}$, dimana kerapatan yang tepat dari komposit α -

keratin-alginat dapat dilihat melalui kapasitas adsorpsi komposit α -keratin-alginat yang diperoleh.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini efek komposisi komposit α -keratin-alginat sebagai adsorben untuk penyerap ion logam berat Fe^{3+} dalam larutan air telah diteliti. Komposisi antara α -keratin dari rambut dengan alginat mempengaruhi kerapatan yang dari komposit α -keratin-alginat, dimana komposisi antara α -keratin dari rambut dengan alginat yang memiliki kerapatan paling baik sebesar 1:2 (R:A).

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- Abour, M.U.S dan Cahyaningrum, S.E. 2015. PEngaruh Konsentrasi Agen Pengikat Silang Terhadap Karakteristik Pirisinamit Terenkapsulasi. *UNESA Jurnal of Chemistry*. Vol 4(1): 81-87.
- Arifudin. 2002. Pembuatan Natrium Alginat Dari Alga Coklat (*Sargassum Filipendula C. Agarth*) Dengan Menggunakan Pelarut Organik. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Baddiel, D.B. 1968. Structure and Reaction of Human Hair Keratin: an Analysis by Infrared Spectroscopy. *J. Mol. Biol*. Vol 38:181-199.
- Bahtiar, A., Faryuni, I. D & Jumarang, M.I. 2015. Adsorpsi Logam Fe Menggunakan Adsorben Karbon Kulit Durian Teraktivasi Larutan Kalium Hidroksida .*PRISMA FISIKA*. Vol. 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*. Vol 969(3): 97-105.
- Firdaus, M.L. 2012. Studi Perbandingan Berbagai Adsorben Sintesis dan Alami untuk Mengikat Logam Berat. *Artikel Ilmiah*. Universitas Bengkulu.
- Frianda, R.A. 2012. Sintesis Komposit Kitosan/Polimetil Metakrilat/Montmorillonite Sebagai Adsorben Zat Warna. *Skripsi*. Universitas Indonesia

- Hartrianti, P., Nguyen, L.T.H., Johanes, J., Chou, S.M., Zhu, P., Tan, N.S., Tang, M.B Y & Ng, K.W. 2016. Fabrication and Characterization of a Novel Crosslinked Human Keratin- Alginate Sponge. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*.
- Juárez, G. A. P., M. Spasojevic, M. M. Faas, dan P. Vos. 2014. Immunological and Technical Consideration in Application of Alginate-Based Microencapsulation System. *Bioengineering and Biotechnology*. Vol 2(26): 1-15.
- Kemenkes RI No. 492/Menkes/PER/IV/2010.
- Kementrian Perindustrian. *Target Pertumbuhan Industri 5,7 %*. 25 September 2016. (<http://kemenperin.go.id/artikel/13740/Tahun-2016,-Target-Pertumbuhan-Industri-5,7-Persen>).
- Kim, K.S., Shin, M.K & Park, H.K. 2013. Effect of Scalp Dermatitis on Chemical Property of Hair Keratin. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Vol 109: 226-231.
- Kosman, R. 2011. Pembuatan 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*. Vol 5(1): 30-34.
- Lin, X., Lee, C.G., Casale, E.S & Shih, J.C.H. 1992. Purification And Charecterization of a Keratinase from a Feather-Degrading Bacillus licheniformis Strain. *Applied And Enviromental Microbiology*. Vol 58(10): 3271-3275.
- Mandasari, I & Purnomo, A. 2016. Penurunan Ion Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air dengan Serbuk Gergaji Kayu Kamper. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 5(1): 1-5.
- 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 & Suharyadi. 2015. Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄). *Jurnal Fisika Indonesia*. Vol 19(55): 23-27.
- Permanasari, A., Siswaningsih, W & Wulandari, I. 2010. Uji Kinerja Adsorben Kitosan-Bentonit Terhadap Logam Berat dan Diazinon Secara Simultan. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*. Vol 1(2): 121-134.
- Putra, D.E., Astuti, F.P dan Suharyadi, E. 2014. Studi Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) Pada Limbah Batik Dengan Sistem Purifikasi Menggunakan Adsorben Nanopartikel Magnetic (Fe₃O₄). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI* ISSN : 0853-0823.

- Roh, H. G., S. G. Kim, dan J. Jung. 2014. Adsorption of Heavy Metal Ions (Pb^{2+} , Cu^{2+}) on Perm-Lotion-Treated Human Hair. *Korean J. Chem. Eng.* Vol 31 (2): 310-314.
- Sillerová, H., Komárek, M., Liu, C., Poch, J dan Vilaescusa, I. 2015. Biosorbent Encapsulation in calcium alginate: Effects of Process Variables on Cr(IV) Removal From Solutions. *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol 80: 260-270.
- Sugita, P., T. Wukirsari, A. Sjahriza dan D. Wahyono. 2009. *Kitosan: Sumber Biomaterial Masa Depan*. Bogor. IPB Press
- Surya, S.A. 2015. Pemanfaatan Limbah Rambut Manusia Sebagai Pelampung Adsorben Pencemaran Minyak di Lautan. *Karya Tulis Ilmiah*. Universitas Sebelas Maret.
- Wrześniewska-Tosik, K., Kucharska, M & Wawro, D. 2008. Fibrous Keratin Containing Composite. *FIBRES & TEXTILES*. Vol 16(6): 113-116.
- 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. *Carbohydr Polymers*.