

ADSORPSI Fe²⁺ MENGGUNAKAN ARANG AKTIF CAMPURAN LIMBAH TEH DAN TONGKOL JAGUNG

Setyo Erna Widiyanti¹⁾, Ridhawati¹⁾, Jeanne Dewi Damayanti¹⁾, Khusnul Khotimah²⁾, Muh. Irsal²⁾

¹⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

²⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang

ABSTRACT

This study aims to find the best conditions for the Fe²⁺ adsorption process using activated charcoal from a mixture of tea waste and corncobs in a fixed-bed column (flow rate, bed height, and initial concentration of adsorbate), determine the percentage removal of Fe²⁺, and select the appropriate adsorption model to predict breakthrough curve using the Yoon-Nelson and Thomas model. The best adsorption process studies was carried out by varying the flow rate (5, 10, and 15 ml/min), bed height (1, 2, and 3 cm) and the initial concentration of adsorbate (50, 75, and 100 mg/L). The best Fe²⁺ adsorption process from the study was a flow rate of 5 ml/min, bed height of 3 cm, and the initial concentration of adsorbate of 50 mg/L. The highest percentage of Fe²⁺ removal was 64.7%. The appropriate adsorption models to predict the breakthrough curve were the Yoon-Nelson and Thomas models. The constants k_{TH} and q_0 were 0.000182 L/mg.min and 0.307 mg/g for the Thomas model, and k_{YN} and were 0.009 min⁻¹ and 6.2 min for the Yoon-Nelson model.

Keywords: *activated charcoal, tea waste, corncob, adsorption, Fe²⁺*

1. PENDAHULUAN

Kontaminasi air oleh logam berat melalui pembuangan air limbah industri merupakan masalah lingkungan yang sedang dihadapi di seluruh dunia. Industrialisasi yang pesat menjadi penyumbang terbesar dalam pelepasan logam berat ke aliran air. Kontaminasi ion logam Fe²⁺ sering ditemukan dalam air limbah hasil proses produksi dari pabrik besi dan baja (Fe) [1]. Konsentrasi Fe²⁺ yang diperbolehkan dalam air limbah sebesar 5 mg/l [2] dan air *hygiene* sanitasi sebesar 1 mg/l [3].

Proses pengolahan air limbah yang terkontaminasi Fe²⁺ biasanya menggunakan metode pertukaran ion, koagulasi secara kimia, teknologi elektrokimia, filtrasi dengan membran, ekstraksi pelarut, dan adsorpsi. Sebagian besar metode ini memiliki biaya operasional yang tinggi dan kebutuhan peralatan yang mahal. Namun, proses adsorpsi telah dianggap sebagai alternatif yang menarik karena kemudahan pengoperasian, efektivitas dan kelayakan ekonomisnya [4].

Para peneliti dalam beberapa tahun terakhir telah menggunakan adsorben dari limbah *stone* zaitun [5], chitosan [6], karagenan [7], tandan buah sawit dan tongkol jagung [8] untuk menghilangkan ion logam Fe²⁺. Penelitian tentang proses adsorpsi secara *batch* telah banyak dilakukan untuk menghilangkan ion Fe²⁺. Keunggulan dari sistem *batch* adalah mudah dilakukan di laboratorium, sedangkan kelemahannya adalah jumlah limbah yang dapat diolah hanya sedikit. Untuk mengolah limbah dalam jumlah yang lebih besar, dapat digunakan dengan metode kolom. Menurut sudut pandang industri, proses adsorpsi secara kontinyu lebih dipilih daripada sistem *batch* [9]. Beberapa model adsorpsi yang dikembangkan untuk menggambarkan performa proses adsorpsi menggunakan kolom *fixed-bed* yaitu model Yoon-Nelson dan Thomas. Pemakaian model Thomas pada adsorpsi Fe²⁺ secara kolom yang telah dilakukan oleh Agil, dkk pada tahun 2019 dan Sylvia, dkk pada tahun 2018 didapatkan nilai k_{TH} dan q_0 sebesar 0,08226 L/mg.menit, 0,0351 mg/g [10] dan 0,095 L/mg.menit, 66,189 mg/g [11].

Teh dan jagung merupakan minuman dan makanan yang sangat digemari di Indonesia. Hampir setiap warung makan menyediakan menu minuman teh. Sedangkan jagung merupakan sumber karbohidrat pengganti nasi yang cukup digemari, apalagi bagi penderita diabetes dan yang sedang berdiet. Semakin banyaknya konsumsi teh dan jagung, maka semakin banyak pula limbah yang dihasilkan berupa ampas teh dan tongkol jagung. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kondisi proses adsorpsi Fe²⁺ terbaik menggunakan arang aktif campuran limbah teh dan tongkol jagung pada kolom *fixed-bed* (laju alir, tinggi bed, konsentrasi awal adsorbat), penentuan persen removal Fe²⁺ terbaik, serta pemilihan model adsorpsi yang sesuai untuk memprediksi kurva *breakthrough* (terobosan) menggunakan model Yoon-Nelson dan Thomas.

¹ Korespondensi penulis: Setyo Erna Widiyanti, Telp 085741217115, setyoernawidiyanti@poliupg.ac.id

2. METODE PENELITIAN

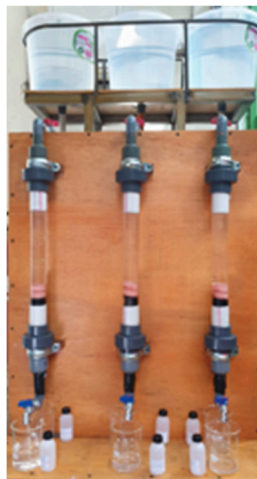
Penelitian dilakukan di Laboratorium pengolahan limbah dan laboratorium analisis instrument Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah limbah teh (ampas teh), tongkol jagung, H_3PO_4 40%, ($FeSO_4$), dan aquadest. Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah alat untuk pengarangan, seperangkat alat adsorpsi, spektrofotometer Uv-Vis, dan alat-alat gelas.

Pembuatan arang aktif. Bahan baku dari arang adalah limbah teh (ampas teh) dan tongkol jagung. Dalam pembuatan arang aktif, kedua bahan baku tidak bisa langsung dicampur. Limbah teh (ampas teh) dicuci beberapa kali menggunakan air panas hingga bersih dari pengotor. Limbah teh dikeringkan pada suhu $105^\circ C$, kemudian di arangkan pada suhu $300-500^\circ C$. Arang limbah teh diaktivasi menggunakan H_3PO_4 40% (dilakukan perendaman selama 24 jam). Arang aktif limbah teh dicuci dengan aquadest sampai pH netral. Arang aktif limbah dikeringkan pada suhu $105^\circ C$, selanjutnya dihancurkan dan diayak untuk mendapatkan ukuran partikel 50 mesh. Langkah yang sama dilakukan untuk membuat arang aktif tongkol jagung. Arang aktif limbah teh dan tongkol jagung disimpan dalam botol yang kedap udara. Adsorben sebelum digunakan, dicampurkan terlebih dahulu dengan perbandingan 1:1.

Karakterisasi Adsorben. Karakterisasi adsorben dilakukan dengan melakukan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*).

Persiapan Adsorbat. Larutan induk Fe ($FeSO_4$) dibuat 1000 ppm. Selanjutnya diencerkan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Pembuatan rangkaian alat adsorpsi. Kolom adsorpsi dibuat dari tabung akrilik dengan diameter dalam 3,6 cm dan tinggi 30 cm. Gambar rangkaian alat adsorpsi kolom fixed-bed dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat adsorpsi kolom *fixed-bed*

Studi adsorpsi ion Fe^{2+}

Pencarian kondisi adsorpsi terbaik dilakukan dengan cara mempelajari pengaruh laju alir, tinggi bed, dan konsentrasi awal adsorbat.

Variasi laju alir. Laju alir divariasi dari 5 ml/menit, 10 ml/menit, dan 15 ml/menit. Tinggi bed dan konsentrasi awal adsorbat dibuat tetap yaitu 2 cm dan 50 mg/l. Efluen dianalisa konsentrasinya setiap 15 menit (selama 180 menit). Analisa konsentrasi Fe^{2+} menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis.

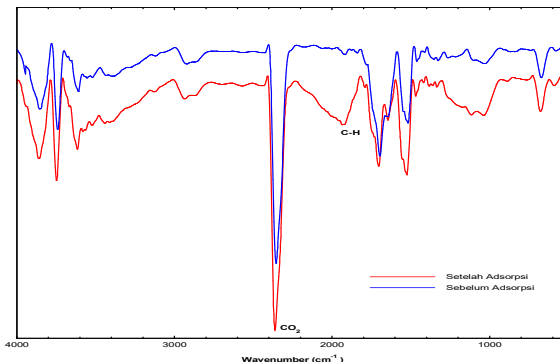
Variasi tinggi bed. Tinggi bed divariasi dari 1 cm, 2 cm, dan 3 cm untuk masing-masing sampel. Laju alir yang digunakan adalah 5 ml/menit (laju alir terbaik dari percobaan sebelumnya), dan konsentrasi awal adsorbat adalah 5 mg/l. Efluen dianalisa konsentrasinya setiap 15 menit (selama 180 menit) untuk tinggi bed 1 dan 2 cm, sedangkan untuk tinggi bed 3 cm dianalisa setiap 15 menit (selama 120 menit) selanjutnya setiap 30 menit (untuk menit ke- 120 s/d 300). Analisa konsentrasi Fe^{2+} menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis.

Variasi konsentrasi awal adsorbat. Konsentrasi awal adsorbat divariasi dari 50 mg/l, 75 mg/l dan 100 mg/l untuk masing-masing sampel. Laju alir dan tinggi bed yang digunakan adalah 5 ml/ menit dan 3 cm (laju alir dan tinggi bed terbaik dari hasil percobaan sebelumnya). Efluen dianalisa konsentrasinya setiap 15 menit (selama 120 menit), selanjutnya setiap 30 menit (untuk menit ke-120 s/d 300). Analisa konsentrasi Fe^{2+} menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakterisasi adsorben

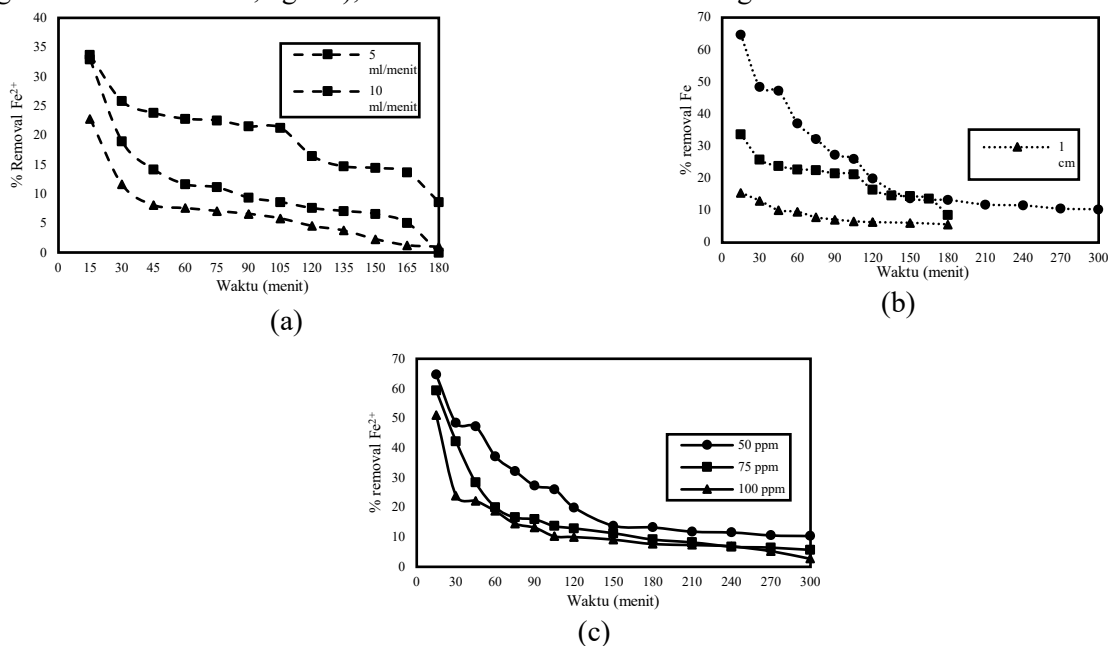
Hasil analisis FTIR arang aktif campuran limbah teh dan tongkol jagung sebelum dan setelah adsorpsi Fe^{2+} dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan gambar 2 terlihat adanya perbedaan spektra dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang $1928,88\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi gugus C-H.



Gambar 2. Hasil Analisis FTIR Arang aktif sebelum mengadsorpsi Fe^{2+}

b. Studi adsorpsi Fe^{2+}

Evaluasi proses adsorpsi dilakukan dengan cara menghitung nilai persen removal Fe^{2+} dan analisis kurva terobosan. Nilai persen removal Fe^{2+} pada setiap variasi laju alir, tinggi bed dan konsentrasi awal adsorbat dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar laju alir dan konsentrasi awal adsorbat, maka semakin rendah % removal Fe^{2+} . Semakin bertambah tinggi bed, semakin besar % removal Fe^{2+} . Persen removal Fe^{2+} tertinggi sebesar 64,7 % pada saat laju alir 5 ml/menit, tinggi bed 3 cm (dengan massa adsorben 7,5 gram), konsentrasi awal adsorbat 50 mg/L.



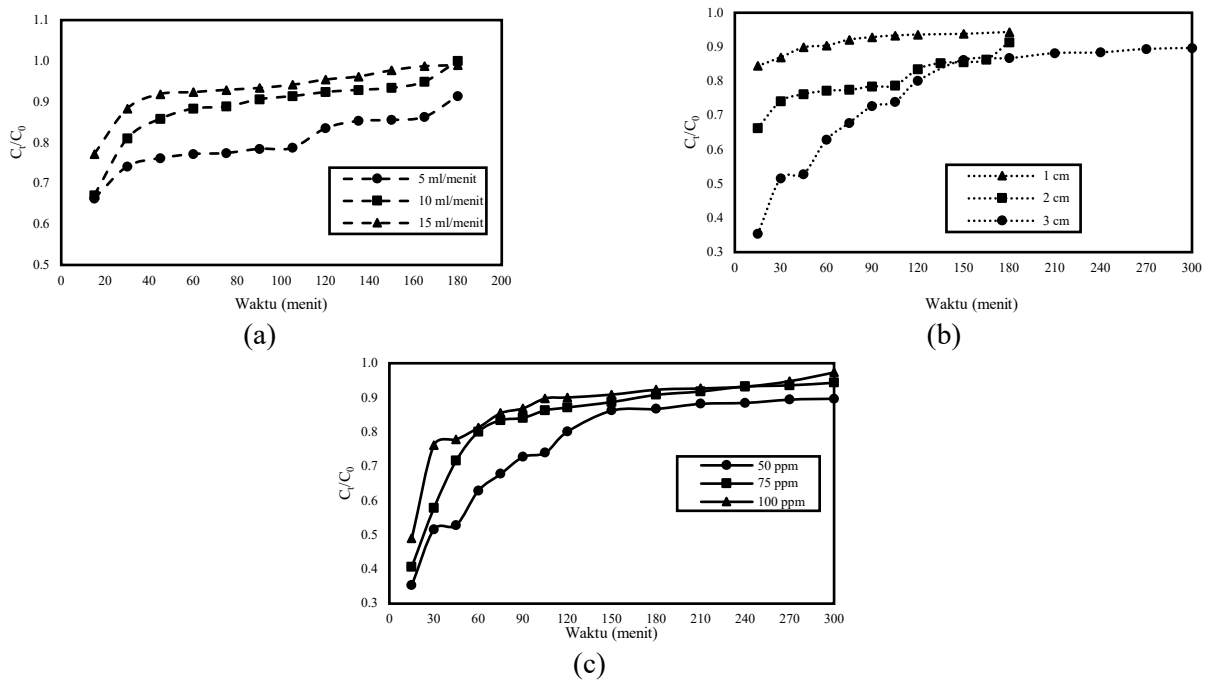
Gambar 3. Pengaruh (a) laju alir, (b) tinggi bed, dan (c) konsentrasi awal adsorbat terhadap % removal Fe^{2+}

Kurva terobosan merupakan kurva yang menggambarkan suatu rentang kondisi terjadinya peningkatan drastis jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben, sebelum proses adsorpsi mendekati kesetimbangan. Titik *breakthrough* dari kurva yang berbentuk S dianggap ketika konsentrasi efluen dari kolom mencapai sekitar 0,1% dari konsentrasi influen. Kolom dianggap jenuh atau habis pada saat konsentrasi efluen mencapai 95%. Kurva breakthrough umumnya dinyatakan dengan C/C_0 sebagai fungsi waktu atau volume efluen [12]. Pengaruh laju alir (5, 10, dan 15 ml/menit) terhadap kurva terobosan dapat dilihat pada Gambar 4 (a) dengan konsentrasi awal adsorbat dan tinggi bed tetap yaitu 50 mg/L dan 2 cm. Semakin besar laju alir, kecuraman kurva terobosan semakin meningkat. Hal ini disebabkan pada saat laju alir efluen tinggi, tidak ada cukup waktu

bagi Fe²⁺ kontak dengan adsorben, sehingga adsorpsi Fe²⁺ menurun. Laju alir terbaik dari penelitian ini adalah 5 ml/menit.

Pengaruh tinggi bed (1, 2, dan 3 cm) terhadap kurva terobosan dapat dilihat pada gambar 4 (b) dengan konsentrasi awal dan laju alir tetap yaitu 50 mg/L dan 5 ml/menit. Pertambahan tinggi bed mengakibatkan waktu untuk mencapai jenuh semakin lama. Hal ini disebabkan semakin banyak tempat pengikatan yang tersedia untuk mengadsorpsi Fe²⁺. Tinggi bed terbaik dari penelitian ini adalah 3 cm.

Pengaruh konsentrasi awal adsorbat (50, 75, dan 100 mg/L) terhadap kurva terobosan dapat dilihat pada Gambar 4 (c) dengan laju alir dan tinggi bed tetap yaitu 5 ml/menit dan 3 cm. Semakin besar konsentrasi awal adsorbat menyebabkan semakin cepat pencapaian waktu jenuh. Hal ini disebabkan konsentrasi awal yang tinggi menyebabkan semakin cepatnya area pengikatan terisi. Konsentrasi awal yang terbaik dari penelitian adalah 50 mg/L.



Gambar 4. Pengaruh laju alir, (b) tinggi bed, (c) konsentrasi awal Fe²⁺ terhadap C_t/C_0

c. Model adsorpsi kolom *fixed-bed*

a) Model Thomas

Model Thomas adalah salah satu model yang umum digunakan untuk mendeskripsikan dinamika adsorpsi pada kolom *fixed-bed*. Model ini didasarkan pada asumsi bahwa aliran di alas kolom mengikuti aliran sumbat dan kesetimbangan mengikuti isoterm Langmuir. Korelasi nonlinier antara konsentrasi dan waktu ditunjukkan dengan persamaan seperti berikut [9], [13]:

$$\frac{C_t}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{k_{Th}q_0W}{Q} - k_{Th}C_0t\right)} \quad (1)$$

Bentuk linierisasi dari model Thomas adalah sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0} - 1\right) = \frac{k_{Th}q_0W}{Q} - k_{Th}C_0t \quad (2)$$

Dimana Q (ml/ menit) adalah laju aliran, W (g) adalah berat adsorben, k_{Th} (l/mg.menit) adalah konstanta laju Thomas, dan q_0 (mg/g) menunjukkan kapasitas maksimum adsorben. Plot linier $\ln[(C_0/C_t) - 1]$ terhadap t dapat digunakan untuk mengetahui nilai konstanta k_{Th} dan q_0 dari intersep dan kemiringan plot. Berdasarkan Tabel 1 diperoleh nilai k_{Th} dan q_0 sebesar 0,000182 L/mg.menit dan 0,307 mg/g.

Tabel 1. Parameter Model Thomas untuk Adsorpsi Fe²⁺ pada Kondisi Berbeda Menggunakan Analisis Regresi Linier pada berbagai penelitian

	Q (L/menit)	C ₀ (mg/L)	Z (cm)	m (g)	k _{TH} (L/mg.menit)	q ₀ (mg/g)	R ²
[10]	0,2	2,07		250	0,10755	0,0161	0,7174
				500	0,08226	0,0351	0,4767
[11]	6	0,169	7,5		0,095	66,189	0,981
			10		0,070	70,875	0,982
			12,5		0,050	75,685	0,982
			10		0,124	35,442	0,979
			14		0,189	5,577	0,977
Penelitian ini	0,005	50	3	7,5	0,000182	0,307	0,8582

b) Model Yoon-Nelson

Model Yoon–Nelson secara matematis analog dengan model Thomas. Bentuk linierisasi dari model Yoon-Nelson terkait dengan sistem komponen tunggal dinyatakan sebagai berikut (Foroughi-dahr et al., 2015), (Tsfagiorgis et al., 2020):

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0 - C_t}\right) = k_{YN}t - \tau k_{YN} \quad (3)$$

Dimana k_{YN} (1/menit) adalah konstanta laju adsorpsi dan τ (menit) adalah waktu yang dibutuhkan untuk 50% *breakthrough* adsorbat. Nilai k_{YN} dan τ dapat dihitung dari intersep dan kemiringan plot linier ln [Ct/(C₀ - C_t)] vs t berdasarkan Persamaan (3). Pada penelitian ini didapatkan nilai k_{YN} dan τ sebesar 0,009 menit⁻¹ dan 6,2 menit.

4. KESIMPULAN

Proses adsorpsi Fe²⁺ terbaik dari penelitian adalah laju alir 5 ml/menit, tinggi bed 3 cm, dan konsentrasi awal adsorbat 50 mg/L. Persen removal Fe²⁺ tertinggi diperoleh 64,7%. Berdasarkan nilai R² diperoleh model adsorpsi yang sesuai untuk memprediksi kurva *breakthrough* adalah model Yoon-Nelson dan Thomas. Konstanta k_{TH} dan q₀ sebesar 0,000182 L/mg.menit dan 0,307 mg/g untuk model Thomas, serta k_{YN} dan τ sebesar 0,009 menit⁻¹ dan 6,2 menit untuk model Yoon-Nelson.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.R. Mamun, N. K. Saha, S. Chakrabarty, “A comparative study of the adsorption capacity of tea leaves and orange peel for the removal of Fe (III) ion from wastewater”. J. Chem. Health Risks, vol. 9, no. 2, pp. 107–115, April 2019.
- [2] Menteri-LH RI, “Permen-LH nomor 5 tentang baku mutu air limbah”, Jakarta, 2014
- [3] Menteri Kesehatan RI, “Permenkes nomor 32 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, solus per aqua, dan pemandian umum”, Jakarta, 2017.
- [4] M.Nigam, S. Rajoriya, S.R. Singh, P. Kumar, “Adsorption of Cr (VI) ion from tannery wastewater on tea waste Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies”. J. Environ. Chem. Eng, vol. 7. No. 3, Juni 2019.
- [5] T.M. Alslaibi, I. Abustan, M.A. Ahmad, A.A. Foul, “Preparation of activated carbon from olive stone waste: optimization study on the removal of Cu²⁺, Cd²⁺, Ni²⁺, Pb²⁺, Fe²⁺, and Zn²⁺ from aqueous solution using response surface methodology”, J. Dispers. Sci. Technol, vol. 35, no. 7, pp. 913–925, Mei 2014.
- [6] W.S.W.Ngah, S.A. Ghani, A. Kamari, “Adsorption behaviour of Fe(II) and Fe(III) ions in aqueous solution on chitosan and cross-linked chitosan beads”, Bioresource Technology, vol. 96, no. 4, pp. 443–450, Maret 2005.
- [7] K.H.Kamal, S.Dacrory, S.S.M. Ali, K.A. Ali, S. Kamel, “Adsorption of Fe ions by modified carrageenan beads with tricarboxy cellulose: kinetics study and four isotherm models”, Desalination Water Treatment, vol. 165, pp. 281–289, Oktober 2019.

- [8] M.M. Nassar, K.T. Awida, E.E. Ebrahiem, Y.H. Magdy, M.H. Mehaedi, “Fixed-Bed Adsorption for the Removal of Iron and Manganese onto Palm Fruit Bunch and Maize Cob”, *Adsorption Science & Technology*. Vol 21, no. 2, pp. 161-175, Maret 2003.
- [9] M. Foroughi-dahr, M. Esmaili, H. Abolghasemi, A. Shojamoradi, E.S. Pouya, “Continuous adsorption study of congo red using tea waste in a fixed-bed column”, *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, no. 18, pp. 1-10, April 2015.
- [10] A. Harnowo, E.N. Hidayah, M. Jannah, “Kapasitas adsorbansi arang aktif kulit kacang tanah pada penyisihan logam Fe”, *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1., pp. 53-59, 2019.
- [11] Sylvia, N., Hakim, L., Fardian, N., and Yunardi. “Adsorption performance of fixed-bed column for the removal of Fe (II) in groundwater using activated carbon made from palm kernel shells”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 334, The 3rd International Conference on Chemical Engineering Sciences and Applications 2017 (3rd ICChESA 2017) 20–21 September, Banda Aceh, Indonesia, 2017.
- [12] R. Lakshmiathy, and N.C. Sarada, “A fixed bed column study for the removal of Pb²⁺ ions by watermelon rind”, *Environmental Science: Water Research & Technology*, 1, pp. 244-250, Januari 2015.
- [13] K.Tesfagiorgis, A.E. Navarro, B.M. Chen, N.Herrera, J. Hernandez, Á. González-Álvarez, O.S. Savane, “Simulations of breakthrough curves for fixed-bed column adsorption of cobalt (II) ions on spent tealeaves. *Water Science & Technology*, vol. 81, no. 11, pp. 2410-2421, 2020.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah memberikan biaya untuk pelaksanaan Penelitian.