



## Optimasi Adsorpsi Ion $Mg^{2+}$ pada *Fixed Bed Column* dengan Menggunakan *Response Surface Methodology*

Novi Sylvia\*), Meriatna, Fikri Hasfita, dan Lukman Hakim

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh,  
Lhokseumawe, 24351, Indonesia  
Telp./Fax. (0645) 41373 / (0645) 44450

\*)Penulis korespondensi: nxsylvia@gmail.com

### Abstract

**OPTIMIZATION ADSORPTION OF  $Mg^{2+}$  ION ON FIXED BED COLUMN USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY.** Modeling of the adsorption process is used to establish the mathematical relationship between the interacting process variables and process optimization. This is important to determine the factor values that produce a maximum response. Adsorption of Mg from groundwater was optimized using response surface methodology based on Box-Behnken design was used to analyze adsorption data. The process was investigated by continuous experiments. Variables included in the process were: bed depths (7.5, 10, and 12.5 cm), time (20, 40, and 60 min), and flow rate (6, 10, and 14 L/min). Regression analysis was used to analyze the developed models. The outcome of this research showed that 72.784% of the variability in removal efficiency is attributed to the three process variables considered, that is, bed depths, time, and flow rate. Optimization tests showed that the optimum operating conditions for the adsorption process occurred at a bed depth of 11.37 cm, time of 55.53 min and flow rate of 6 L/min.

**Keywords:** adsorption; Box-Behnken design; magnesium ( $Mg^{2+}$ ); optimization

### Abstrak

Pemodelan dari proses adsorpsi digunakan untuk menentukan hubungan matematis antara variabel proses interaksi dan proses optimasi. Hal ini penting untuk menentukan nilai faktor yang menghasilkan respon maksimum. Adsorpsi magnesium ( $Mg^{2+}$ ) dari air tanah dioptimalkan menggunakan metodologi respon permukaan model Desain Box-Behnken yang digunakan untuk menganalisis data adsorpsi. Percobaan dilakukan secara kontinyu. Variabel yang termasuk dalam proses tersebut adalah: tinggi unggun (7,5, 10 dan 12,5 cm), waktu kontak (20, 40, dan 60 menit), dan laju alir (6, 10, dan 14 L/menit). Analisis regresi digunakan untuk menganalisis model yang dikembangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 72,784% efisiensi penyisihan  $Mg^{2+}$  ditentukan oleh tiga variabel proses, yaitu tinggi unggun, waktu kontak, dan laju alir. Hasil optimasi menunjukkan bahwa kondisi operasi optimum untuk proses adsorpsi terjadi pada tinggi unggun 11,37 cm, waktu kontak 55,53 menit dan laju alir 6 L/menit.

**Kata kunci:** adsorpsi; Box-Behnken desain; magnesium ( $Mg^{2+}$ ); optimasi

**How to Cite This Article:** Sylvia, N., Meriatna, Hasfita, F., dan Hakim, L., (2017), Optimasi Adsorpsi ion  $Mg^{2+}$  pada *Fixed Bed Column* dengan Menggunakan *Response Surface Methodology*, Reaktor, 17(3), 126-131, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.17.3.126-131>.

## PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi semua makhluk hidup. Manusia dalam kehidupan sehari-hari memerlukan air untuk berbagai keperluan mulai dari air minum, mencuci, mandi, dan kegiatan kegiatan vital lainnya, sehingga pengelolaan air menjadi pertimbangan yang utama untuk menentukan apakah sumber air yang telah diolah menjadi sumber air yang dapat digunakan atau tidak (Kusnaedi, 2002).

Kualitas air yang baik ditentukan dari beberapa parameter diantaranya parameter kesadahan air yang menyebabkan air menjadi keruh dan proses penyabunan menjadi terganggu sebagai akibat dari mineral ion Ca dan Mg yang bereaksi (Park dkk., 2007).

Beberapa metode untuk menurunkan kesadahan air dapat dilakukan secara fisika maupun kimia seperti presipitasi, koagulasi serta pertukaran ion. Metode-metode tersebut memerlukan biaya yang cukup mahal sehingga saat ini telah dilakukan berbagai usaha-usaha pengendalian kesadahan air, yang mengarah pada upaya-upaya pencarian metode-metode yang murah, efektif dan efisien (Kundari dan Wiyuniati, 2008).

Metode yang paling banyak digunakan dalam industri adalah dengan proses adsorpsi, hal ini dikarenakan proses adsorpsi lebih ekonomis, mampu menghilangkan bahan-bahan organik serta tidak menimbulkan efek samping yang beracun. Pada adsorpsi digunakan karbon aktif sebagai bahan alternatif untuk mengurangi kadar magnesium dalam air. Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini biasa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut (Nunik dan Okayadnya, 2013).

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan baku yang mengandung karbon. Karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini adalah cangkang kernel sawit. Cangkang kernel sawit merupakan salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang cukup besar, yaitu mencapai 60% dari produksi minyak (Kurniati, 2008).

Beberapa penelitian dengan optimasi kondisi operasi dari adsorpsi telah dilakukan. Zahangir dkk. (2007) melakukan optimasi statistik proses adsorpsi untuk menghilangkan 2,4-Dichlorophenol oleh karbon aktif yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit. Kondisi operasi yang optimum dalam penelitian ini diperoleh: kecepatan pengadukan 100 r/min, waktu kontak 8 jam, konsentrasi adsorbat awal dari 250 mg/L dan pH 4.

Turkyilmaz dkk. (2014) melakukan optimasi suhu adsorpsi, waktu dan konsentrasi adsorben zeolit mordenit terhadap logam Pb menggunakan metoda tanggap permukaan, berdasarkan desain Box-Behnken. Data adsorpsi dianalisis dengan model isoterm. Kondisi

optimum adsorpsi hampir 84 persen dengan waktu adsorpsi dari 85-90 menit, suhu adsorpsi 50°C, dan konsentrasi logam Pb 10 mg/L.

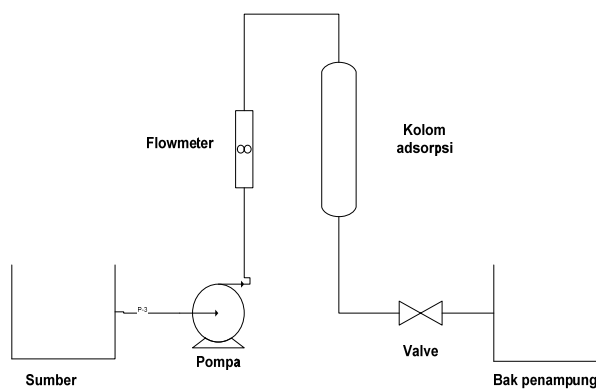
Salah satu metode optimasi kondisi proses adalah *Response Surface Methodology* (RSM). Metoda ini dapat menangani dua atau lebih faktor pada beberapa level, sekaligus memberikan hasil yang absah pada rentang luas sesuai dengan kondisi eksperimen. RSM telah banyak diterapkan untuk optimasi, seperti yang telah dilakukan oleh Turkeyilmaz dkk. (2014). Optimasi terhadap ukuran partikel, massa dan waktu kontak karbon aktif terhadap efektifitas adsorpsi  $\beta$ -karoten pada CPO (Elmariza dkk., 2015). Kelebihan RSM yaitu dapat digunakan untuk analisis dan pemodelan dari suatu permasalahan dengan satu atau lebih perlakuan dalam penelitian (Montgomery, 2001; Bas dan Boyaci, 2007; Raissi dan Farzani, 2009).

Namun demikian tidak banyak penelitian yang melakukan optimasi adsorpsi magnesium dalam sistem kontinyu. Tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan kondisi operasi adsorpsi magnesium menggunakan karbon aktif dalam kolom *fixed bed* dengan RSM.

## METODE PENELITIAN

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah air sumur dari Laboratorium Teknik Kimia Unimal dan limbah cangkang kernel sawit dari PT. Syaokad Sejahtera yang digunakan sebagai karbon aktif. Proses preparasi diawali dengan membersihkan cangkang kernel sawit menggunakan aquades yang bertujuan untuk mengurangi zat pengotor yang masih terikat pada cangkang kernel sawit. Cangkang kernel sawit yang sudah dicuci kemudian dihaluskan dan ditanur pada suhu 600°C selama 3 jam untuk menghilangkan senyawa bukan karbon yang terkandung dalam cangkang kernel sawit, kemudian cangkang siap digunakan sebagai adsorben yang dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi. Kolom adsorpsi yang digunakan berukuran diameter 6 cm dan panjang 50 cm terbuat dari pipa *acrylic* yang didesain khusus seperti pada Gambar 1 terdapat 3 kolom seri. Alat tambahan yang digunakan adalah neraca digital, ayakan, blender, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) AA Shimadzu 7000.

Penelitian dilakukan untuk menentukan nilai optimum pada proses penurunan kesadahan air sumur dengan mengoptimalkan tinggi unggun, waktu kontak dan laju alir. Karena optimasi variabel respon yang akan dilakukan lebih dari satu maka proses optimasinya harus menggunakan metode permukaan respon (*Response Surface Methode*) yang menggunakan pendekatan *Desirability Function* (DF) (Box dan Wilson, 1951) dengan rancangan Box-Behnken 3 variabel bebas (Khuri dan Mukhopadhyay, 2010) yang terdiri dari 17 perlakuan dan dijalankan secara acak.



Gambar 1. Kolom adsorpsi model kontinyu

Nilai DF besarnya nol sampai dengan satu. Nilai DF yang mendekati satu menandakan bahwa kombinasi variabel bebas dapat mencapai kombinasi optimal sesuai dengan variabel respon yang dikehendaki, sedangkan nilai DF mendekati nol menandakan bahwa kombinasi variabel bebas sulit mencapai titik optimal berdasarkan variabel responnya. Variabel bebas yaitu: tinggi unggun (X<sub>1</sub>), waktu kontak (X<sub>2</sub>) dan laju alir (X<sub>3</sub>). Rancangan disajikan pada Tabel 1. Model persamaan adalah:

$$Y_k = \beta_o + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_j \quad (1)$$

Tabel 1. Faktor dan level pada variabel bebas

Variabel Bebas	Level kode dan range		
	-1	0	+1
Tinggi unggun, cm (X <sub>1</sub> )	7,5	10	12,5
Waktu kontak, min (X <sub>2</sub> )	20	40	60
Laju alir, L/min (X <sub>3</sub> )	6	10	14

Analisis optimasi proses dilakukan dengan cara melakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Design-Expert versi 7.1.5 (Design-Expert, 2000)* untuk mendapatkan bentuk permukaan respon dan plot kontur serta analisis keragaman dari respon penelitian. Pengkodean (+1, 0 dan -1) dan nilai aslinya untuk masing-masing faktor. Hubungan antara nilai-nilai ini ditunjukkan dengan Persamaan 2.

$$Z = \frac{X - X^o}{\Delta X} \quad (2)$$

dimana Z merupakan nilai pengkodean, X adalah nilai asli yang berkaitan, sedangkan X<sup>o</sup> adalah nilai tengah domain. ΔX menunjukkan kenaikan X terhadap satu satuan Z. Efisiensi adsorpsi dihitung menggunakan persamaan 3 (Garg dkk., 2008; Lo dkk., 2011).

$$Y = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}} \quad (3)$$

dimana Y adalah persentase ion Mg<sup>2+</sup>, C<sub>A0</sub> konsentrasi ion Mg<sup>2+</sup> awal, and C<sub>A</sub> adalah konsentrasi Mg<sup>2+</sup> akhir.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 menjelaskan matrik desain dan hubungannya dengan hasil data eksperimen juga nilai-nilai prediksi variabel respon dari model (efisiensi penyisihan magnesium). Nilai-nilai respon prediksi dihitung dari model kuadratik dengan memanfaatkan software *Design Expert*. Berdasarkan data eksperimen, efisiensi penyisihan ion Mg<sup>2+</sup> dimanfaatkan untuk mengembangkan model statistik menggunakan metode analisis regresi berganda. Hubungan yang dihasilkan antara variabel respon efisiensi penyisihan dan variabel independen tinggi unggun, waktu kontak, dan laju aliran ditunjukkan pada persamaan (4).

Tabel 2. Matrik desain eksperimen berdasarkan Box-Behnken

No	X <sub>1</sub> (cm)	X <sub>2</sub> (Mnt)	X <sub>3</sub> (L/mnt)	Efisiensi penyerapan ion Mg <sup>2+</sup>		% Error
				Exp	Pred	
				1	10	
2	12,5	20	10	59,09	56,108	5,048
3	12,5	40	14	43,18	45,312	-4,933
4	10	40	10	61,36	61,363	0,001
5	10	20	14	36,36	37,216	-2,343
6	12,5	40	6	70,45	75,142	-6,653
7	10	40	10	61,36	61,363	0,001
8	10	40	10	61,36	61,363	0,001
9	10	60	14	38,64	40,340	-4,409
10	10	40	10	61,36	61,363	0,001
11	12,5	60	10	68,18	64,346	5,626
12	10	40	10	61,36	61,363	0,001
13	7,5	60	10	27,27	30,255	-10,934
14	7,5	40	6	38,64	36,505	5,516
15	7,5	20	10	26,14	29,971	-14,673
16	10	20	6	59,09	57,386	2,885
17	7,5	40	14	28,41	23,721	16,502

Berdasarkan hasil pengamatan dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan tertinggi (Y) yang diperoleh adalah 70,45%, diikuti oleh efisiensi penyisihan terendah 26,14%. Persentase kesalahan dari RSM disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kesalahan tertinggi untuk respon Y adalah 16,502 persen. Persamaan model korelasi variabel tanggap terhadap variabel independen adsorpsi adalah:

$$Y = -230,82386 + 41,42045X_1 + 0,97301X_2 + 9,33949X_3 + 0,039773X_1X_2 - 0,42614X_1X_3 - 0,00710227X_2X_3 - 0,163636X_1^2 - 0,014915X_2^2 - 0,37287X_3^2 \quad (4)$$

dimana : Y = efisiensi ion Mg<sup>2+</sup>, X<sub>1</sub> = tinggi unggun (cm), X<sub>2</sub> = waktu kontak (menit), X<sub>3</sub> = laju alir (L/menit).

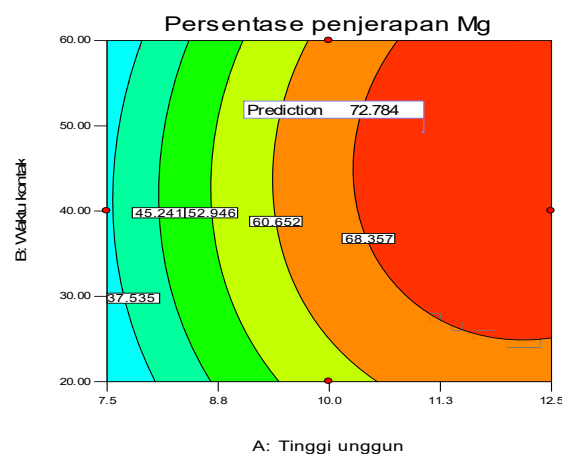
Korelasi antara permukaan respon dan faktor yang ditentukan dengan metode Box-Behnken menggunakan Software *Design expert*. Berdasarkan *sum of squares*, model yang dipilih polinomial tertinggi, dimana persyaratan tambahannya signifikan dan model tidak *aliased* (Chaudhary dan Balomajumder, 2014). Koefisien korelasi dan standar deviasi digunakan untuk mengevaluasi model yang dikembangkan. Apabila nilai R<sup>2</sup> mendekati 1 maka

standar deviasi lebih kecil dan model semakin baik untuk memprediksi respon (Tan dkk., 2008).

Tabel 3 menunjukkan bahwa model kuadrat memiliki standar deviasi yang relatif kecil yaitu 1,72 dan nilai  $R^2$  yang relatif tinggi yaitu 0,971 dan nilai prediksi  $R^2$  (0,544) serta nilai *adjusted R<sup>2</sup>* (0,935). Berdasarkan tabel juga dapat dilihat bahwa model kuadrat untuk respon  $Y$  tidak *aliased*. Ini berarti bahwa model kuadrat dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan antara respon  $Y$  dan variabel interaksi.

Tabel 4 menunjukkan hasil analisis varian (ANOVA) kuadrat Model efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$ . ANOVA untuk model kuadrat pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai probabilitas ( $Prob > F$ ) untuk variabel  $X_1$  dan  $X_3$  lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa model kuadrat (orde 2), dimana variabel  $X_1$  = tinggi unggun,  $X_3$  = laju alir dan variabel kuadrat  $X_1^2$  secara signifikan mempengaruhi efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$ . Sebaliknya  $X_2$  = waktu kontak, dan variabel interaksi  $X_1X_2$ ,  $X_1X_3$  dan  $X_2X_3$  dan kuadrat variabel  $X_2^2$  dan  $X_3^2$  muncul tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik variabel-variabel ini hanya memberikan pengaruh yang kecil pada efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$ , namun variabel-variabel ini tetap disertakan dalam model, mengingat kemungkinan bahwa variabel-variabel ini memiliki dampak yang signifikan pada adsorpsi.

Gambar 1 dan 2 terlihat grafik kontur dan grafik tanggap permukaan tiga dimensi yang menggambarkan efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$  dengan variasi tinggi unggun dan laju alir. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa grafik tanggap permukaan dan *contour plot* mempunyai bentuk maksimum. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui optimasi respon efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$  72,784% yang berada pada tinggi unggun 11,37 cm, waktu kontak 55,53 menit dan laju alir 6 L/mnt.



Gambar 1. *Contour plot* untuk efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$  ( $Y$ ) terhadap tinggi unggun dan waktu kontak

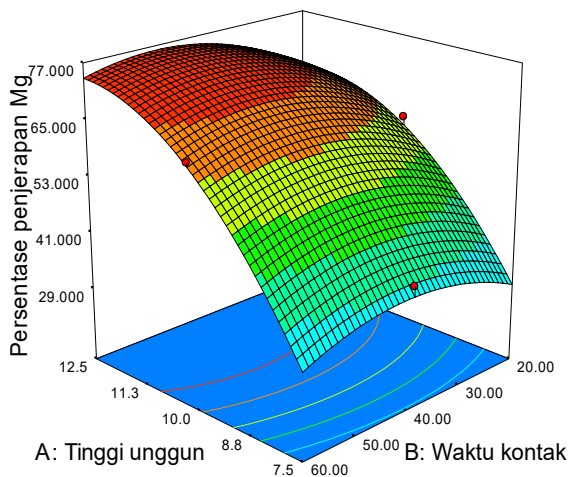
Tabel 3. Regresi statistik untuk efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$

Source	Std.Dev	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	Pred. R <sup>2</sup>	Ket
Linear	3,89	0,731	0,669	0,575	Disarankan
2FI	4,23	0,755	0,607	0,317	-
Quadratic	1,72	0,971	0,935	0,544	Disarankan
Cubic	0	1	1	-	Aliased

Tabel 4. Analisa varian (ANOVA) untuk penyisihan ion  $Mg^{2+}$  yang terserap

Faktor	Sum square	df	Mean square	F - Value	P Value	Keterangan
Model	3666,35	9	407,37	26,53	0,0001	Signifikan
$X_1$	1813,66	1	1813,7	118,10	<0,0001	Signifikan
$X_2$	36,32	1	36,32	2,36	0,1680	Tidak Signifikan
$X_3$	907,96	1	907,96	59,12	0,0001	Signifikan
$X_1X_2$	15,82	1	15,82	1,03	0,3439	Tidak Signifikan
$X_1X_3$	72,64	1	72,64	4,73	0,0661	Tidak Signifikan
$X_2X_3$	1,29	1	1,29	0,084	0,7802	Tidak Signifikan
$X_1^2$	440,41	1	440,41	26,68	0,0011	Signifikan
$X_2^2$	149,86	1	149,86	9,76	0,0168	Tidak Signifikan
$X_3^2$	149,86	1	149,86	9,76	0,0168	Tidak Signifikan
Residual	107,50	7	15,36			
Lack of Fit	107,50	3	35,83			
Pure Error	0,000	4	0,000			
Cor Total	3773,85	16				

$R^2=0,9715$ ; adj  $R^2 = 0,9349$ ; pred.  $R^2=0,5442$ ; C.V = 7,99%; Adeq Precision=17,108



Gambar 2. Grafik tanggap permukaan untuk efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$  (Y) terhadap tinggi unggun dan waktu kontak

Semakin tinggi unggun semakin banyak kadar Mg yang terserap dan sebaliknya. Hal ini terjadi karena semakin tinggi packing maka luas permukaan kontak adsorben karbon aktif menjadi semakin besar sehingga penyerapannya menjadi lebih baik (Haryati dkk., 2011).

Waktu kontak yang cukup diperlukan oleh karbon aktif agar dapat mengadsorpsi ion  $Mg^{2+}$  secara optimal. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak kesempatan partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan ion  $Mg^{2+}$  yang terikat di dalam pori-pori karbon aktif.

Semakin kecil laju alir maka semakin banyak ion  $Mg^{2+}$  yang terserap. Kondisi ini disebabkan karena pada laju alir yang semakin kecil maka waktu kontak antara ion-ion yang terdapat dalam air semakin lama sehingga ion-ion yang teradsorpsi semakin banyak.

Penentuan kondisi operasi optimum untuk variabel independen bertujuan untuk memperoleh efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$ . Fungsi parameter keinginan, DF, digunakan untuk menilai kondisi operasi optimal. Jika DF lebih dekat dengan kesatuan, respon dari target adalah yang terbaik.

Tabel 5. Analisa optimasi dengan batasan pada adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif (*Design Expert*)

Alternatif	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Efisiensi penyisihan $Mg^{2+}$ (%)	DF
1	11,37	55,53	6,00	72,784	0,99
2	11,36	55,67	6,00	72,783	0,86

Tabel 5 menyajikan solusi alternatif dengan nilai-nilai DF yang berbeda. Nilai DF tertinggi adalah 0,99, diperoleh dalam kondisi tinggi unggun 11,37 cm, waktu kontak 55,53 menit dan laju alir 6 L/menit. Nilai DF terendah 0,86 diperoleh dalam kondisi tinggi

unggun 11,36 cm, waktu kontak 56,67 menit dan laju alir 6 L/menit. Berdasarkan metode DF, perangkat lunak *Design Expert* menghasilkan 2 solusi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Pada pertimbangan nilai DF dan efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$ , solusi nomor 1 dipilih untuk mewakili variabel respon optimal.

## KESIMPULAN

Pendekatan DF dimanfaatkan untuk mengoptimalkan variabel proses tinggi unggun (7,5, 10 dan 12,5 cm), waktu kontak (20, 40, dan 60 menit), dan laju alir (6, 10, dan 14 L/min) pada efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$  72,784% dalam *fixed-kolom* sistem adsorpsi. Kondisi optimum untuk menghasilkan efisiensi penyisihan ion  $Mg^{2+}$  tertinggi diperoleh dalam kondisi tinggi unggun 11,37 cm, waktu kontak 56,67 menit dan laju alir 6 L/menit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bas, D. and Boyaci, I.H., (2007), Modelling and Optimization I: Usability of Response Surface Methodology, *Journal of Food Engineering*, 78, pp. 836-845.
- Box, G.E.P. and Wilson, K.B., (1951), On the Experimental Attainment of Optimum Conditions, *Journal of Royal Statistics Society*, 13, pp. 1-45.
- Chaudhary, N. and Balomajumder, C., (2014), Optimization Study of Adsorption Parameters for Removal of Phenol on Aluminum Impregnated Fly Ash Using Response Surface Methodology, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, pp. 852-859.
- Elmariza, J., Arreneuz, S., dan Zaharah, T.A., (2015), Optimasi Ukuran Partikel, Massa dan Waktu Kontak Karbon Aktif Berdasarkan Efektivitas Adsorpsi  $\beta$ -Karoten pada CPO, *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(2), hal. 21-25
- Haryati, S., Supraptiah, E., dan Bustana, D.M., (2011), Pengujian Performance Adsorben Serat Buah Mahkota Dewa (*Phaleria marcocarpa* (Scheff)) dan Clay terhadap Larutan yang Mengandung Logam Kromium, *Journal of Applied and Engineering Chemistry*, 1, hal. 18-23.
- Garg, U., Kaur, M.P., Jawa, G.K., Sud, D., and Garg, V.K., (2008), Removal of Cadmium (II) from Aqueous Solutions by Adsorption on Agricultural Waste Biomass, *Journal of Hazardous Materials*, 154, pp. 1149-1157.
- Kundari, N.A. dan Wiyuniati, S., (2008). Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*, hal. 489-496.

- Khuri, A.I. and Mukhopadhyay, S., (2010), Response Surface Methodology, *WIREs Computational Statistics*, 2, pp.128-149.
- Kurniati, E., (2008), Pemanfaatan Cangkang Sawit sebagai Arang Aktif, *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, 8 (2), hal. 96-103.
- Kusnaedi, (2002), *Mengolah Gambut dan Air Kotor untuk Air Minum*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Lo, S.-F., Wang, S.-Y., Tsai, M.-J., and Lin, L.-D., (2011), Adsorption Capacity and Removal Efficiency of Heavy Metal Ions by Moso and Ma Bamboo Activated Carbons, *Chemical Engineering Research and Design*, 90, pp. 1397-1406.
- Nunik, P. dan Okayadnya, D.G., (2013), Penyisihan Logam Besi (Fe) pada Air Sumur dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(2), hal. 33-41.
- Montgomery, D.C., (2001), *Design and Analysis of Experimental*, John Wiley & Sons Inc, New York, pp. 1-500.
- Park, J.S., Song, J.H., Yeon, K.H., and Moon, S.H., (2006), Removal of Hardness Ions from Tap Water Using Electromembrane Processes, *Desalination*, 202, pp.1-8.
- Raissi, S. and Farzani, R.E., (2009), Statistical Process Optimization through Multi-Response Surface Methodology, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 51, pp. 267-271.
- Tan, I.A.W., Ahmad, A.L., and Hameed, B.H., (2008), Preparation of Activated Carbon from Coconut Husk: Optimization Study on Removal of 2,4,6-Trichlorophenol Using Response Surface Methodology, *Journal of Hazardous Materials*, 153, pp. 709-717.
- Turkyilmaz, H., Kartal, T., and Yildiz, S.Y., (2014), Optimization of Lead Adsorption of Mordenite by Response Surface Methodology: Characterization and Modification, *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12(5), pp. 1-9.
- Zahangir, Md.A., Muyibi S.A., and Toramae, J., (2007), Statistical Optimization of Adsorption Processes for Removal of 2,4- Dichlorophenol by Activated Carbon Derived from Oil Palm Empty Fruit Bunches, *Journal of Environmental Sciences*, 19, pp. 674-677.