



**OPTIMASI ADSORPSI ION Pb^{2+} MENGGUNAKAN KARBON AKTIF
SEKAM PADI PADA *FIXED BED COLUMN* DENGAN PENDEKATAN
RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)**

Meriatna, Rina Afriani, Leni Maulinda, Suryati, Zulmiardi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
Korespondensi: HP: 08126563565, e-mail: Email: meriatna@unimal.ac.id

Abstrak

Logam berat adalah kelompok logam yang memiliki densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 yang pada umumnya mempunyai sifat toksik dan berbahaya bagi organisme hidup. Salah satu cara untuk menyerap logam berat adalah dengan cara adsorpsi menggunakan karbon aktif sekam padi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektifitas sekam padi terhadap penyerapan logam Pb serta mengkaji kondisi optimum untuk menghasilkan efisiensi penyerapan logam Pb pada masing-masing variabel proses dengan menggunakan RSM (*Reponse Surface Methodology*). Percobaan dilakukan secara kontinyu dengan *fixed bed column*. Variabel yang digunakan yaitu tinggi unggun (3 cm, 6 cm, dan 9 cm) dan waktu kontak (60 menit, 120 menit, dan 180 menit). Pembuatan adsorben sekam padi dilakukan dengan cara dibakar dalam *furnace* pada suhu $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1,5 jam lalu diaktifasi dengan HCl. Hasil optimasi menunjukkan bahwa kombinasi level variabel bebas yang mampu memberikan nilai respon optimal adalah pada tinggi unggun 4.411 dan waktu kontak adsorpsi selama 180 menit. Sedangkan untuk nilai desirability-nya adalah 0.341.

Kata kunci: Adsorpsi, Optimasi, Reponse Surface Methodology, Fixed Bed Column

1. Pendahuluan

Pemanfaatan air baku sebagai sumber air bersih masih banyak dilakukan, baik yang diambil secara langsung maupun yang diolah. Meskipun demikian, air di daerah Lhokseumawe juga memiliki beberapa permasalahan. Beberapa pencemar yang ditemukan di dalam kandungan air adalah logam Pb (timbal). Wage Komarawidjaja dkk (2017) mengungkapkan bahwa selain Timbal (Pb), konsentrasi logam berat yang diteliti di perairan Lhokseumawe-Aceh Utara masih berada dibawah ambang batas baku mutu yang berlaku di wilayah Indonesia.

Beberapa metode kimia maupun biologis telah dicoba untuk mengambil logam berat yang terdapat di dalam air, diantaranya adsorpsi, pertukaran ion (*ion exchange*), dan pemisahan dengan membran. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah berfokus pada proses adsorpsi karena dinilai lebih efektif, preparasi mudah dan pembiayaan yang relatif murah dibanding metode lainnya. Salah satu material yang dapat dipertimbangkan sebagai adsorben adalah sekam padi (Nurhasni, 2014).

Kandungan unsur kimia dalam sekam padi dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan di antaranya sebagai bahan baku pada industri kimia, terutama kandungan zat kimia pentosa yang dapat digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai industri kimia antara lain furfural. Disamping itu dapat pula dimanfaatkan sebagai arang aktif, karena kandungan selulosa dan karbohidrat yang cukup tinggi (Fasya, 2017).

Penelitian mengenai adsorpsi ion Pb yang dilakukan secara kontinyu telah dilakukan oleh Novi Sylvania dkk (2017) dengan persen penyerapan maksimum sebesar 98,429% pada waktu 16 jam dengan laju alir 16 L/jam, dan tinggi unggun 9 cm serta kapasitas penyerapan maksimum sebesar 3,5253 terdapat pada waktu kontak 16 jam dengan laju alir 6 L/jam dan tinggi unggun 3 cm. Optimasi kondisi operasi dari adsorpsi juga telah dilakukan oleh Novi Sylvania dkk (2017) dengan adsorben yang berasal dari cangkang kernel kelapa sawit. 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. Oleh karena itu, melihat dari segi permasalahan yang terjadi dan keterkaitannya dengan metode adsorpsi maka perlu adanya tindakan lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kondisi operasi adsorpsi timbal menggunakan karbon aktif sekam padi pada *Fixed Bed Column* dengan pendekatan RSM.

2. Bahan dan Metode

2.1 Metode

Proses preparasi diawali dengan membersihkan sekam padi. Sekam padi yang sudah dicuci kemudian dijemur di terik matahari untuk kemudian dilakukan

pembakaran pada suhu 350°C selama 1,5 jam. Setelah dibakar sekam padi diaktivasi dengan HCl 0,1 M selama 24 jam. Setelah itu arang disaring untuk selanjutnya dibilas dengan aquadest sampai pH netral. Arang yang telah menjadi karbon aktif kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven selama 2 jam pada suhu 110°C setelah itu adsorben sekam padi kemudian dapat digunakan sebagai adsorben.

Percobaan adsorpsi dilakukan secara kontinyu dengan menggunakan *fixed bed column*. Adsorben atau arang sekam padi yang telah teraktivasi dimasukkan kedalam kolom adsorpsi. Kemudian dialiri limbah artifisial $Pb(NO_3)_2$ konsentrasi 20 ppm yang dipompakan ke dalam kolom adsorpsi. Larutan yang mengalir kebawah kolom adsorpsi kemudian ditampung untuk kemudian dilakukan analisa kadar Pb yang tidak terserap dengan AAS.

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini di desain menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Software Design Expert II*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan sekam padi, maka dapat diketahui validasi hasil prediksi model terhadap data eksperimen seperti yang terlihat pada tabel 1.

3.1 Validasi Model Statistik

Tabel 1. Validasi Hasil Prediksi Model Terhadap Data Eksperimen

Run	Variabel Bebas		Variabel Terikat			Variabel Terikat		
			Kadar Penyerapan (%)			Kapasitas Penyerapan (mg/g)		
	Tinggi Unggun (cm)	Waktu Kontak (menit)	Eksperimen	Prediksi	% Error	Eksperimen	Prediksi	% Error
1	6.00	120.00	99.30	99.32	-0.0253	9.22	9.22	0.0000
2	9.00	120.00	99.88	99.60	0.2835	6.40	6.95	-0.5450
3	3.88	77.57	99.21	99.12	0.0913	13.46	14.26	-0.7984
4	8.12	162.43	99.37	99.53	-0.1649	7.19	6.88	0.3139
5	6.00	60.00	99.28	99.30	-0.0268	9.21	8.97	0.2415
6	3.88	162.43	99.25	99.15	0.1074	13.47	14.27	-0.7995
7	6.00	180.00	99.35	99.35	-0.0003	9.22	8.98	0.2430
8	3.00	120.00	99.00	99.05	-0.0524	18.42	17.39	1.03
9	8.12	77.57	99.39	99.50	-0.1114	7.19	6.88	0.3150

Berdasarkan tabel 1 hasil analisa kadar penyerapan logam Pb tertinggi sebesar 99.88% pada tinggi unggun 9 cm dengan waktu kontak 120 menit.

Sedangkan hasil analisa kapasitas penyerapan logam Pb tertinggi sebesar 18.42 mg/g pada tinggi unggun 3 cm dengan waktu kontak 120 menit. Dari hasil analisa didapat persamaan:

$$Y_1 = +98.73193 + 0.091633(A) + 3.58821E-004(B)$$

Dimana: Y_1 = Kadar penyerapan (%)

A = Tinggi Unggun (cm)

B = Waktu Kontak (menit)

Sedangkan untuk kapasitas penyerapan didapat persamaan:

$$Y_2 = +9.22 - 3.69(A) + 1.706E-003(B) - 2.000E-003(AB) + 1.48(A^2) - 0.12(B^2)$$

Dimana:

Y_2 = Kapasitas Penyerapan (mg/g)

A = Tinggi Unggun (cm)

B = Waktu Kontak (menit)

3.2 Analysis Of Variance (ANOVA)

Analysis Of Variance (ANOVA) untuk model orde I dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Analysis Of Variance (ANOVA) Kadar Penyerapan Ion Pb

Sumber	Jumlah kuadrat	DF	Mean Square	FValue	Prob > F	Keterangan
Model	0,30	2	0,15	10,38	0,0036	Significant
A	0,30	1	0,30	20,63	0,0011	
B	1,854E-003	1	1,854E-003	0,13	0,7294	
Residual	0,15	10	0,015			
Lock of Fit	0,15	6	0,024			
Pure eror	0,000	4	0,000			
Cor Total	0,45	12				

Keterangan :

Mean Square = Jumlah Kuadrat Rata-Rata

A = Tinggi Unggun (cm)

B = Waktu Adsorpsi (menit)

Nilai probabiliti adalah $P > F$

Tabel 2. menunjukkan ANOVA kadar penyerapan logam dengan *Design Expert* 11. Model dapat dinyatakan memiliki pengaruh yang signifikan jika model memiliki nilai probabiliti <0.05 . Namun jika nilai probabiliti ($\text{Prob} > F$) lebih besar dari 0,1 maka model yang ditunjukkan tidak signifikan. ANOVA untuk model dan variabel A memiliki nilai probabiliti ($\text{Prob} > F$) lebih kecil dari 0,05 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa model linear dan variabel A berpengaruh secara nyata terhadap kadar penyerapan.

Tabel 3. Data Analysis Of Variance (ANOVA) Kapasitas Penyerapan

Sumber	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	Keterangan
Model	124.88	5	24.98	59.29	<0.001	Significant
A	109.04	1	109.04	258.85	<0.001	
B	2.329E-005	1	2.329E-005	5.530E-005	0.9943	
AB	1.600E-005	1	1.600E-005	3.798E-005	0.9953	
A ²	15.15	1	15.15	35.97	0.0005	
B ²	0.10	1	0.10	0.24	0.6391	
Residual	2.95	7	0.42			
Lack of Fit	2.95	3	0.98			
Pure error	0,000	4	0,000			
Cor Total	127.83	12				

Sumber Software Design Expert 11

Keterangan :

Mean Square = Jumlah Kuadrat rata-rata

A = Tinggi Unggun (cm)

B = Waktu Adsorpsi (menit)

Nilai Probabilitas adalah $P > F$

Tabel 3. menunjukkan ANOVA Kapasitas penyerapan dengan *Design Expert* 11. Model dapat dinyatakan memiliki pengaruh yang signifikan jika model memiliki nilai probabilitas <0.05 . Pada Tabel 3. menyatakan bahwa model dan variabel A dan A² memiliki nilai probabilitas <0.05 . Hal ini berarti model dan variabel A dan A² memiliki pengaruh yang signifikan. Model pada penelitian ini secara garis besar menunjukkan variabel A dan A² berpengaruh secara signifikan pada kapasitas penyerapan logam Pb

3.3 Uji Kelayakan Model Orde I

Tabel 4. Uji Kelayakan kadar penyerapan logam

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	Keterangan
<i>Sequential Model Sum of Squares</i>						
Mean vs Total	1.283E+005	1	1.283E+005			
Linear vs Mean	0.30	2	0,15	10.38	0.0036	<i>Sugessted</i>
2FI vs Linear	5.250E-003	1	1.750E-003	0.075	0.7907	
Quadratic vs 2FI	0.022	2	0.011	0.62	0.5652	
Cubic vs Quadratic	0.11	2	0.057	28.61	0.0018	<i>Aliased</i>
Residual	9.919E-003	5	1.984E-003			
Total	1.283E+005	13	9865.45			
<i>Model Summary Statistics</i>						
<i>Std. Dev.</i>	0.1210					
<i>Mean</i>	99.32					
<i>C.V. %</i>	0.1219					
<i>R²</i>	0.6749					
<i>Adjusted R²</i>	0.6099					
<i>Predicted R²</i>	0.2897					
<i>Adeq Precision</i>	9.4552					

Dari hasil analisa *response surface methodology* (RSM) dengan menggunakan *design expert* didapatkan persamaan regresi model orde I dengan *modellinear*. Keakuratan model tersebut dapat diketahui dari harga R-squared (R^2) yaitu 0.6749. Dalam uji *sum of square*, suatu model dinyatakan sesuai apabila nilai Adj R^2 dan juga Pred R^2 memiliki selisih nilai lebih kecil dari 0,2. Bila dilihat dari hasil penelitian yang didapatkan nilai dari Adj R^2 adalah 0.6099 dan nilai dari Pred R^2 adalah 0.2897 yang menunjukkan bahwa model ini tidak sesuai karena selisih dari nilai Adj R^2 dan juga Pred R^2 lebih besar dari 0,2. Suatu model juga dikatakan baik apabila rasio dari *Adeq Precision* lebih dari 4. Bila dilihat pada tabel, rasio dari *Adeq Precision* adalah 9.4552 dan termasuk memadai sehingga model ini dapat digunakan. Uji kelayakan kapasitas penyerapan ion Pb dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5. Uji Kelayakan Kapasitas Penyerapan

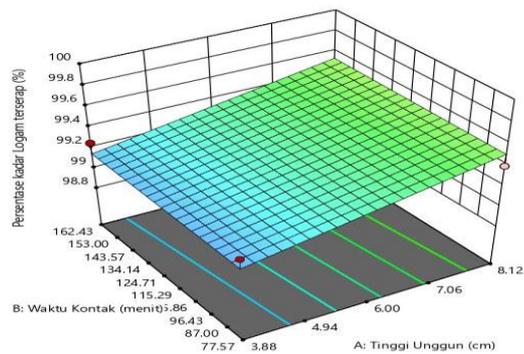
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	Keterangan
<i>Sequential Model Sum of Squares</i>						
<i>Mean vs Total</i>	1312.97	1	1312.97			
<i>Linear vs Mean</i>	109.04	2	54.52	29.01	<0.0001	
<i>2FI vs Linear</i>	1.600E-005	1	1.600E-005	7.661E-006	0.9979	
<i>Quadratic vs 2FI</i>	15.85	2	7.92	18.81	0.0015	<i>Sugessted</i>
<i>Cubic vs Quadratic</i>	2.48	2	1.24	13.20	0.0101	<i>Aliased</i>
<i>Residual</i>	0.47	5	0.094			
Total	1440.80	13	110.83			
<i>Model Summary Statistics</i>						
Std. Dev.	0.6490					
Mean	10.05					
C.V. %	6.46					
R ²	0.9769					
Adjusted R ²	0.9605					
Predicted R ²	0.8360					
Adeq Precision	23.8355					

Dari hasil analisa *response surface methodology* (RSM) dengan menggunakan *design expert* didapatkan persamaan regresi model orde II dengan model *quadratic*. Keakuratan model tersebut dapat diketahui dari harga R-squared (R²) yaitu 0.9769.

Dalam uji *sum of square*, suatu model dinyatakan sesuai dilihat dari nilai Adj R² dan juga Pred R². Model yang baik apabila nilai dari Adj R² dan juga Pred R² memiliki selisih lebih kecil dari 0,2 (*Software Design Expert* 11). Bila di lihat pada tabel, nilai Adj R² adalah 0.9605 dan nilai dari Pred R² adalah 0.8360. Selisih dari Adj R² dan juga Pred R² lebih kecil dari 0,2 maka model diterima. Suatu model juga dikatakan baik apabila rasio dari *Adeq Precision* lebih dari 4. Bila di lihat pada tabel, rasio dari *Adeq Precision* adalah 23.8355 dan termasuk memadai sehingga model ini dapat digunakan

3.4 Pengaruh Tinggi Unggun dan Waktu Kontak Terhadap Kadar Penyerapan Logam Pb(%)

Adapun pengaruh tinggi unggun dan waktu kontak terhadap kadar penyerapan logam Pb(%) dapat dilihat pada gambar 1.

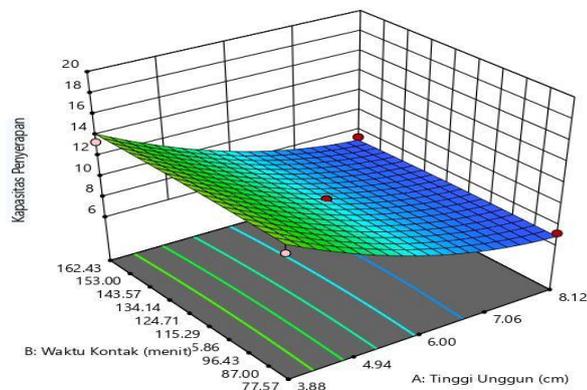


Gambar 1. Pengaruh Tinggi Unggun Dan Waktu Kontak Terhadap Kadar Penyerapan(%)

Gambar 1. Menunjukkan bahwa kadar penyerapan logam Pb tertinggi sebesar 99,8832% pada tinggi unggun 9 cm dengan waktu kontak selama 120 menit. Dari hasil penelitian yang didapat, semakin tinggi unggun adsorpsi maka kadar penyerapan logam Pb yang dihasilkan juga semakin besar. Semakin tinggi unggun semakin banyak adsorbennya, maka akan semakin banyak pula kadar Pb yang terserap, begitu juga sebaliknya. Hal ini terjadi karena semakin tinggi adsorben dalam kolom, maka luas permukaan kontak adsorben karbon aktif semakin besar sehingga penyerapannya menjadi lebih baik (Sylvia dkk, 2017).

3.5 Pengaruh Tinggi unggun dan Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Penyerapan (mg/g)

Adapun pengaruh tinggi unggun dan waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan(mg/g) dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Tinggi unggun dan Waktu kontak terhadap Kapasitas Penyerapan Logam(mg/g)

Gambar 2. Menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan logam paling rendah dihasilkan sebesar 6,4015 mg/g pada tinggi unggun 9 cm dengan waktu kontak 120 menit. Sedangkan kapasitas penyerapan tertinggi adalah sebesar 18,4181 mg/g. Hal ini terjadi karena semakin besar tinggi unggun, jumlah adsorben didalam kolom semakin banyak sehingga menyebabkan air limbah hanya melewati adsorben pada bagian tertentu saja yang mengakibatkan menurunnya kapasitas penyerapan (Sylvia dkk, 2017). Semakin tinggi unggun adsorpsi, maka kapasitas penyerapannya akan semakin menurun. Sebaliknya, semakin lama waktu kontak, maka kapasitas penyerapannya akan semakin naik karena semakin lama waktu kontak, semakin banyak atau semakin lama kesempatan partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan ion Pb dalam air.

3.6 Penentuan Kondisi Optimum

Nilai parameter untuk masing-masing variabel bebas dan variabel terikat ditunjukkan pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. Nilai Parameter Untuk Variabel Bebas dan Variabel Terikat

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit
Tinggi Unggun (cm)	<i>in range</i>	3	9
Waktu Kontak (menit)	<i>in range</i>	60	180
Persentase kadar Logam terserap (%)	<i>Maximize</i>	98.9975	99.8832
Kapasitas Penyerapan (mg/g)	<i>Maximize</i>	6.4015	18.4181

Dari hasil optimasi dengan *Software Design Expert* 11. diperoleh nilai optimum. Adapun nilai optimum yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 7. sebagai berikut

Tabel 7. Nilai Optimum dari *Software Design Expert* 11

No.	Tinggi Unggun (cm)	Waktu Kontak (menit)	Persentase kadar Logam terserap (%)	Kapasitas Penyerapan (mg/g)	<i>Desirability</i>	
1	4.411	180.000	99.201	12.573	0.343	<i>Selected</i>

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kadar penyerapan yang paling besar terdapat pada tinggi unggun 9 cm dan waktu kontak 120 menit dengan kadar penyerapan sebesar 99.8832%.
2. Kapasitas penyerapan paling besar terdapat pada tinggi unggun 3 cm dan waktu kontak 120 menit dengan kadar penyerapan sebesar 18.4181 mg/g.
3. Dari hasil optimasi tersebut dapat diketahui bahwa kombinasi level variabel bebas yang mampu memberikan nilai respon optimal adalah pada tinggi unggun 4.411 cm dan waktu kontak adsorpsi selama 180 menit.

5. Daftar Pustaka

- A Anggraeni, D., & Si, M. (2011). *Response Surface Methodology (RSM) Dan Aplikasinya Dosen : Response Surface Methodology (RSM)*.
- Apriliani, Ade. (2010). *Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Connell, D. W., and G. J. Miller. (1995). *Kimia dan Eko- toksikologi encemaran. Terjemahan*. Penerbit UI Press, Jakarta.
- Fasya, A. Z., Fadila, N., & Syafril, I. (2017). *Pemanfaatan Arang Sekam Padi Sebagai Adsorben Guna Mengurangi Limbah Cr. Final Project*.
- 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.
- Komarawidjaja, W., Riyadi, A., & Garno, Y. S. (2017). *Status Kandungan Logam Berat Perairan Pesisir Kabupaten Aceh Utara dan Kota Lhokseumawe. Jurnal Teknologi Lingkungan, 18(2), 251.*
<https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2040>
- Kurniati, E. (2008). *Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. Jurnal Penelitian Ilmu Teknik, 8(2), 96–103.*
- Marchsal Brian dkk. (2018). *Optimasi Adsorpsi Fe dan CO₂ dalam Proses Kondensat Ammonia PT. PIM Menggunakan Karbon Aktif pada Fixed Bed Column dengan Pendekatan Response Surface Methodology*. Jurnal

Reaksi (Journal of Science and Technology) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe. Lhokseumawe.

- Muhammad, M., Maharani, A., & Leni, M. (2019). Optimasi Pengendalian Flow Control DEA Absorber Menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) Control Dengan Metode Respon Surface Methodology (RSM). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 7(2), 152. <https://doi.org/10.29103/jtku.v7i2.1255>
- Nafi'ah R. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) Dengan Adsorben Arang Aktif Dari Sabut Siwalan Kinetics Adsorption Of Pb (II) By Siwalan Fiber. *Jurnal Farmasi Sains Dan Praktis*, 1(2), 28-37.
- Nurmiah dkk. (2013). *Aplikasi Response Surface Methodology Pada Optimalisasi Kondisi Proses Pengolahan Alkali Treated Cottoni*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Pratama, D. A., Muhammad, A., Noor, A., & Sanjaya, A. S. (2017). Jurnal Integrasi Proses Website : [Http://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jip](http://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jip) Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe Dan Cu Pada Air Sungai Mahakam 1 Program Studi S1 Teknik Kimia , Fakultas Teknik , Universitas Mulawarman , Jl . Sambali. *Integrasi Proses*, 6(3), 131–138.
- Ramadhani, R.A dkk. (2017). *Review Pemanfaatan Design Expert Untuk Optimasi Komposisi Campuran Minyak Nabati Sebagai Bahan Baku Sintetis Biodiesel*. Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Sylvia, N., Hakim, L., & Fahmi, A. (2017). *Kinerja Kolom Adsorpsi Pada Penjerapan Timbal (Pb²⁺) Dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit*. *Jurnal Integrasi Proses* (Vol. 6). Retrieved from <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- Sylvia, N., Meriatna, M., Hasfita, F., & Hakim, L. (2017). Optimasi Adsorpsi Ion Mg²⁺ pada Fixed Bed Column dengan Menggunakan Response Surface Methodology. *Reaktor*, 17(3), 126. <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.3.126-131>
- 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.
- Wardalia. (2016). Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadsorp Logam Timbal Pada Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(2), 83–88