Terbit *online* pada laman web jurnal :http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|

Artikel Penelitian

Penyisihan Nitrat Menggunakan Kolom dengan Media Biochar dan Busa Poliuretan

Tivany Edwin[1)], Mas Mera[2)], Puti Sri Komala[1)], Zulkarnaini Zulkarnaini[1)], Alya Sausan Nabila[1)]

[1)] *Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, Kota Padang, Indonesia*

[2)] *Departemen Teknik Sipil, Universitas Andalas, Kota Padang, Indonesia*

*Koresponden: masmera@eng.unand.ac.id

Diterima: 30 April 2024 Diperbaiki: 03 Mei 2024 Disetujui: 01 Juli 2024

ABSTRACT

This study examined the removal of nitrate from wastewater using column adsorption method with variations in the ratio of biochar and polyurethane foam, as well as variations in flow rate. The results showed that the highest adsorption capacity was obtained at a flow rate of 30 mL/min compared to other flow rate variations. At that flow rate, the nitrate sorption capacity reached 4.10 mg/g with biochar, 0.20 mg/g using biochar : polyurethane foam (1 : 1) media, and 13.12 mg/g using biochar : polyurethane foam (2 : 1) media. The biochar : polyurethane foam (2 : 1) media showed the highest nitrate adsorption capacity, which was caused by an increase in the contact time of the flow in the media due to more polyurethane foam volume. This study concludes that sufficient contact time between the contaminant and the adsorption media in the column is a key factor for nitrate removal optimization in addition to the adsorbent material used.

Keywords: *Adsorption, Biochar, Polyurethane foam, Nitrate*

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji penyisihan nitrat dari limbah cair menggunakan metode adsorpsi kolom dengan variasi rasio biochar dan busa poliuretan, serta variasi laju alir. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi tertinggi diperoleh pada laju alir 30 mL/menit dibandingkan variasi laju alir lainnya. Pada laju alir tersebut, kapasitas sadorpsi nitrat mencapai 4,10 mg/g dengan biochar, 0,20 mg/g menggunakan media biochar : busa poliuretan (1 : 1), dan 13,12 mg/g menggunakan media biochar : busa poliuretan (2 : 1). Media biochar : busa poliuretan (2 : 1) menunjukkan kapasitas adsorpsi nitrat paling tinggi, yang disebabkan oleh peningkatan waktu kontak aliran dalam media akibat kandungan busa poliuretan yang lebih banyak. Penelitian ini menyimpulkan bahwa waktu kontak yang cukup antara kontaminan dan media adsorpsi dalam kolom merupakan faktor kunci untuk optimasi penyisihan nitrat selain material adsorben yang dipakai.

Kata Kunci: Adsorpsi, Biochar, Busa poliuretan, Nitrat

1. PENDAHULUAN

Nitrat merupakan salah satu nutrien yang terdapat dalam limbah cair pertanian. Limbah cair yang dialirkan ke badan air dengan kandungan nitrat tinggi berpotensi menyebabkan eutrofikasi (Komala et al., 2023). Untuk itu kandungan nitrat pada limbah cair perlu disisihkan terlebih dahulu. Salah satu mekanisme penyisihan nitrat dari badan air yakni dengan metode adsorpsi (Karri et al., 2018). Biochar adalah arang yang dibuat dengan memanaskan biomassa yang sulit terurai di lingkungan seperti limbah pertanian seperti tempurung kelapa, sekam padi, kulit buah kakao, tongkol jagung, jerami, dan limbah pertanian lainnya. Karena proses pembakaran tanpa oksigen, biochar menghasilkan kandungan karbon yang tinggi dan struktur material yang berpori yang sesuai untuk proses adsorpsi. Adsorpsi adalah perpindahan zat terlarut ke permukaan suatu padatan (adsorben) (Ahmedna et al., 1997). Di Indonesia, potensi bahan baku biochar tergolong melimpah yaitu berupa limbah sisa pertanian yang sulit terdekomposisi, seperti tempurung kelapa. Beberapa hasil penelitian terdahulu menunjukkan kemampuan biochar tempurung kelapa dalam menyisihkan nitrat dari limbah cair sebesar 1 mg/g (You et al., 2019) dan penelitian

https://doi.org/10.25077/dampak.21.2.1-6.2024 Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.

lainnya menunjukkan kapasitas adsorpsi nitrat sebesar 15,15 mg/g (Konneh et al., 2021).

Di sisi lain, busa poliuretan yang merupakan material ini mempunyai porositas yang tinggi dan permukaan yang telah dikembangkan sehingga sangat cocok menjadi media dalam penyaringan air limbah. Busa poliuretan juga mudah didapatkan. Busa ini merupakan polimer yang terbentuk dari reaksi kimia dari monomer yang mengandung paling sedikit dua gugus fungsi isosianat dengan monomer yang mengandung paling sedikit dua gugus fungsi alkohol. Pemanfaatan material ini antara lain sebagai media penyaring dan sebagai media lekat untuk mikroorganisme dalam penyisihan kontaminan limbah industri, limbah domestik dan juga dapat diaplikasikan sebagai filter untuk membersihkan kolam ikan (Bouabidi et al., 2019). Material ini tahan terhadap berbagai kondisi cuaca karena tidak mudah terurai, tidak berbau dan tidak mempengaruhi fisiologi manusia (Dacewicz, 2021).

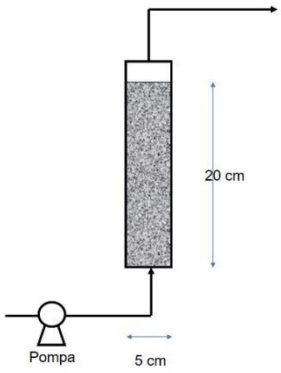
Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka pada penelitian ini akan diuji kemampuan material biochar dan busa poliuretan dalam menyisihkan kandungan nitrat pada air limbah pertanian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh laju alir dan variasi media biochar dan busa poliuretan dengan percobaan adsorpsi kolom dalam menyisihkan nitrat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan biochar tempurung kelapa lokal yang dibeli di pasar tradisional. Hasil penelitian dari Edwin et al. (2023) menunjukkan kemampuan adsorpsi nitrat dengan biochar lokal menunjukkan hasil yang sama baiknya dengan biochar yang dibuat di laboratorium (Edwin et al., 2023[a]; Edwin et al., 2023[b]). Biochar dipotong dengan ukuran lebih kurang 0,5 cm, kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan sebelum digunakan. Untuk busa poliuretan yang digunakan yakni 30 *pores per inch* dan dipotong-potong dengan ukuran 0,5 cm.

Material di masukkan ke dalam kolom yang dipakai berupa *housing filter* dengan diameter 5 cm dan ketinggian 25 cm. Variasi komposisi variasi media pada penelitian ini yakni biochar saja (Media 1), biochar : busa (2 : 1) (Media 2), dan juga biochar : busa (2 : 1) (Media 3). Variasi laju alir yang diujicobakan pada penelitian yakni 10; 20; dan 30 mL/min. Adapun air limbah yang digunakan berupa air limbah artifisial yang dibuat dengan KNO_3 yang dilarutkan dalam akuades untuk mendapatkan konsentrasi amonium, nitrat dan fosfat tertinggi seperti yang ditemukan di lapangan, yakni ±50 mg/L.

Percobaan adsorpsi kontinu dengan kolom (skema Gambar 2.1) dilakukan selama 24 jam (1.440 menit), dengan sampel diambil pada selang waktu 30 menit pada satu jam pertama, kemudian per dua jam berikutnya. Konsentrasi nitrat dan pada inlet dan outlet dari air limbah dianalisis dengan metode spektrofotometri berdasarkan SNI 6989.79:2011 tentang Uji nitrat dengan spektrofotometer UV-visibel secara reduksi cadmium. Selama percobaan, observasi kondisi lingkungan berupa pH dan DO juga dilakukan. Perbedaan nyata antara DO dan pH dianalisis uji ANOVA menggunakan IBM SPSS 24.



Gambar 1. Skema percobaan upflow reactor laboratorium

Jumlah adsorbat yang teradsorpsi ke kolom adsorpsi dihitung dari kapasitas adsorpsi dari persamaan q_{total} (mg) dan kapasitas adsorpsi dinamis, q_{eq} (mg/g) dihitung sesuai dengan persamaan (1) dan persamaan (2):

$$q_{total} = \frac{Q}{1000}\int_{t=0}^{t=total} C_{ad}dt$$
$$q_{eq} = \frac{q_{total}}{M}$$

Di mana t_{total} adalah waktu total kolom untuk mencapai saturasi (min), Q adalah laju aliran (mL/min), M adalah jumlah adsorben yang terkemas dalam kolom (g), dan C_{ad}= selisih konsentrasi adsorbat pada waktu awal dan waktu t yang disebabkan oleh adsorpsi (mg/L).

Untuk model kurva *breakthrough* pada percobaan kolom adsorpsi dapat dilakukan dengan model Thomas, Model Adam and Bohart dan model Yoon-Nelson yang masing-masingnya disajikan pada persamaan (3), persamaan (4) dan persamaan (5) (An & Nguyen, 2015; Patel, 2020).

$$ln\left[\left(\frac{C_0}{C_t}\right) - 1\right] = K_{TH}q_0\frac{m}{Q} - K_{TH}C_0t$$

Di mana K_{TH} adalah konstanta Thomas (mL/min.mg), q_0 adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_o adalah konsentrasi inlet (mg/L), C_t adalah konsentrasi outlet pada waktu t (mg/L), m adalah massa adsorben (g), Q adalah laju alir (mL/menit), dan t adalah waktu filtrasi (menit).

$$ln\left[\left(\frac{C_0}{C_t}\right) - 1\right] = K_{AB}N_0\frac{Z}{u} - K_{AB}C_t\text{t}$$

Di mana C_o dan C_t adalah konsentrasi inlet dan outlet (mg/L), K_{AB} konstanta Adam Bohart (L/mg min), N_o adalah konsentrasi saturasi kolom (mg/L), Z adalah kedalaman dasar (cm), F (cm/min) adalah kecepatan linier yang dicapai dengan membagi laju aliran (cm^3/min) dengan luas penampang kolom (cm^2).

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

Dimana t adalah waktu (min), τ adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai waktu breakthrough 50% (min), dan K_{YN} adalah konstanta Yoon-Nelson (1/min).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

DO pada inlet sampel berada pada rentang 5,5-6,2 mg/L. Kisaran DO outlet pada percobaan menggunakan media 1 (media biochar saja) pada laju alir 10, 20 dan 30 mL/menit berturut-turut adalah 4,2-5,4 mg/L; 4,7-5,8 mg/L dan 4,7-5,5 mg/L. Kisaran DO untuk variasi media 3 (biochar : busa (1 : 1)) dengan variasi laju alir paling kecil adalah 4,3-5,2 mg/L; 4,3-5,5 mg/L dan 4,2-5,1 mg/L. Sedangkan kisaran DO pada percobaan menggunakan media 2 (biochar : busa (2 : 1)) berturut-turut dari variasi laju alir yang paling kecil adalah 4,3-5,5 mg/L; 4,2-5,0 mg/L dan 4,2-5,1 mg/L.

Terkait nilai pH, tidak terdapat perubahan yang berarti antara inlet dan outlet. Adapun kisaran pH inlet adalah 5,5-5,6. Untuk pH pada outlet *upflow reactor* dengan biochar saja pada laju alir 10 mL/menit adalah adalah 5,5-5,7; pada laju alir 20 mL/menit adalah 5,5-5,8, dan pada laju alir 30 mL/menit adalah 5,5-5,8. Menggunakan media biochar : busa (2 : 1), rentang pH yang didapatkan pada semua laju alir adalah 5,5-5,7. Sedangkan menggunakan media biochar : busa (1 : 1) pada semua variasi laju alir, rentang pH yang didapatkan juga 5,5-5,7.

Pada Tabel 3.1 dapat dilihat hasil uji statistik Anova bahwa pH dan DO tidak berbeda signifikan terhadap variasi laju alir. Perbedaan DO pada inlet lebih tinggi daripada DO pada outlet. Kadar oksigen pada aliran dapat berkurang disebabkan oleh kondisi tanpa aerasi selama berada beberapa saat di dalam *upflow reactor*.

Tabel 3.1. Uji Anova pH dan DO berdasarkan laju alir

Variasi media	pH	DO
Media 1	0,425	0,005
Media 2	0,885	0,210
Media 3	0,387	0,098

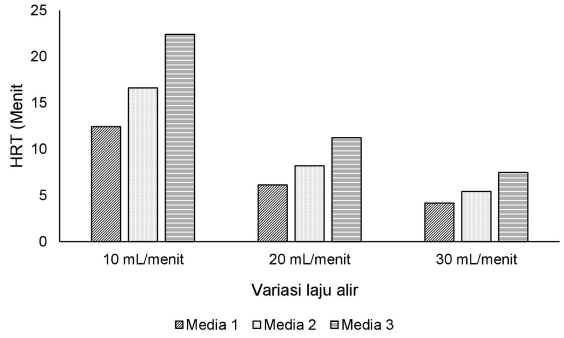
Hasil percobaan adsorpsi menggunakan kolom pada Gambar 3.2 menunjukkan konsentrasi outlet nitrat tetap tinggi di awal percobaan. Hal ini dapat disebabkan oleh konsentrasi awal nitrat yang tinggi. Rentang konsentrasi nitrat pada outlet kolom biochar dari variasi laju alir rendah ke tinggi yakni 24,83-49,74 mg/L; 31,44-47,40 mg/L dan 23,02-50,25 mg/L. Konsentrasi nitrat pada outlet kolom campuran biochar : busa (1 : 1) pada rentang 26,26-46,95 mmg/L; 26,65-49,19 mg/L dan 18,97-49,55 mg/L. Sedangkan konsentrasi nitrat menggunakan kolom campuran biochar : busa (2 : 1) dari laju alir yang paling kecil ke yang besar berada pada rentang 23,29-47,67 mg/L; 27,76-40,72 mg/L dan 17,57-49,72 mg/L. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan variasi biochar : busa (2 : 1) dengan laju alir 30/min yang menunjukkan kapasitas adsorpsi nitrat yang paling tinggi sebesar 13,12 mg/L. Namun konsentrasi nitrat tetap tinggi di awal percobaan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh tingginya konsentrasi nitrat pada infuen, ditandai dengan nilai Ct/Co mendekati 1 pada grafik penyisihan nitrat.

Dari perhitungan kapasitas adsorpsi yang ditunjukkan pada Tabel 3.2, laju alir 30 mL/min,menunjukkan kapasitas adsorpsi yang paling tinggi di antara variasi laju alir lainnya, diikuti laju alir 20 mL/min dan laju alir 10 mL/min. Terkadang laju alir yang lebih tinggi lebih baik dalam menyisihkan kontaminan tertentu. Peningkatan laju air dapat meningkatkan laju proses adsorpsi dan proses lainnya yang berperan dalam penyisihan kontaminan. Dengan laju alir yang lebih tinggi, dapat mencegah terjadinya akumulasi lapisan batas yang dapat memengaruhi efisiensi proses (Aliaskari & Schäfer, 2021).

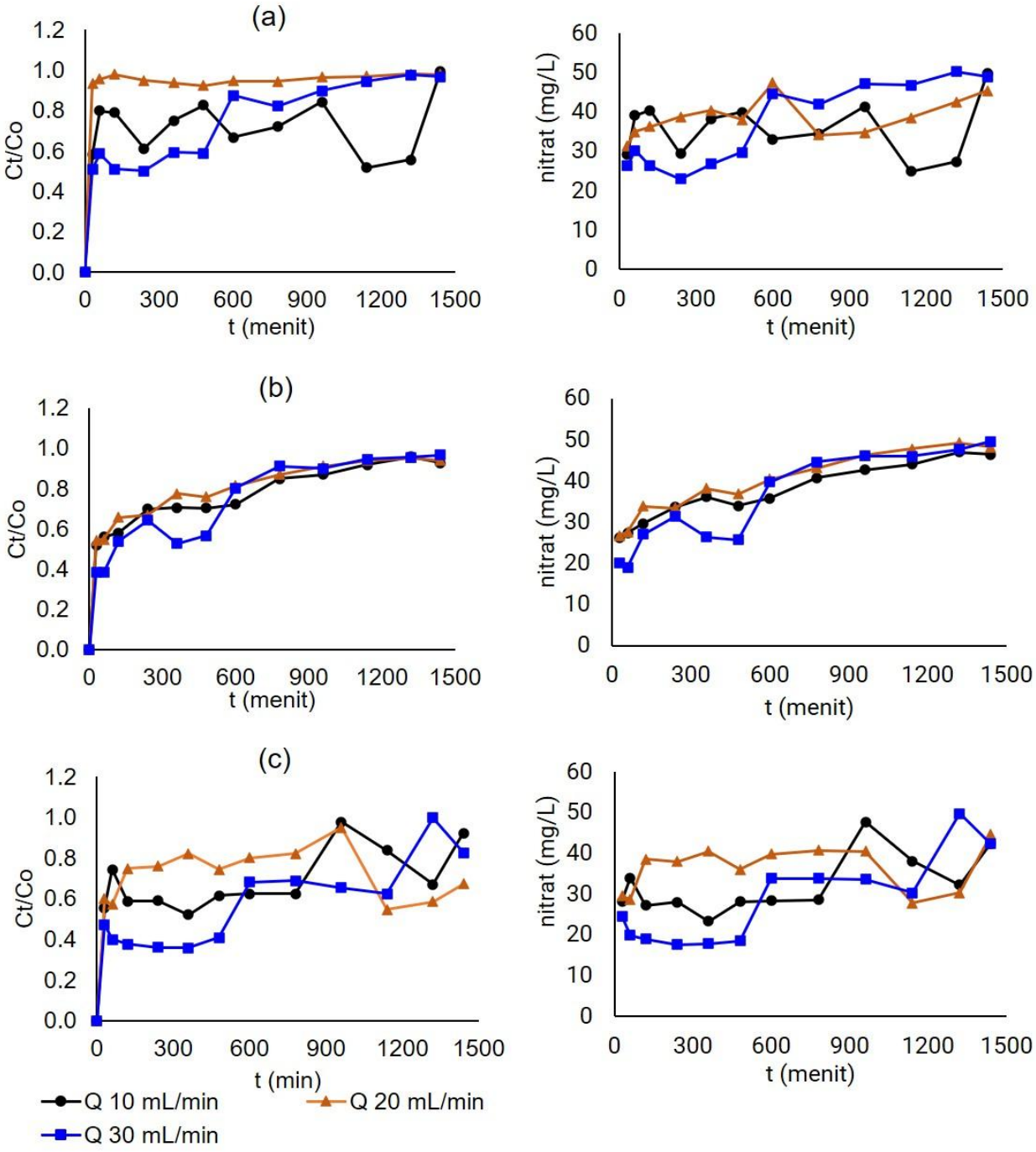
Tabel 3.2. Kapasitas adsorpsi nitrat menggunakan variasi biochar

Variasi media	Q (mL/min)	q_{tot} (mg)	m_{tot} (mg)	q_{eq}(mg/g)
Media 1	10	120,36	107,04	1,89
	20	216,48	107,04	3,00
	30	339,93	107,04	4,10
Media 2	10	76,16	1,78	0,19
	20	76,16	3,04	0,16
	30	76,16	5,70	0,20
Media 3	10	190,99	60,71	3,15
	20	279,01	60,71	5,92
	30	522,71	60,71	*13,12

Variasi media yang paling optimum dalam menyisihkan nitrat pada penelitian ini adalah campuran biochar : busa (2 : 1), diikuti oleh campuran biochar : busa (1 : 1), kemudian media biochar saja. Penyisihan ini diperkirakan berhubungan dengan *hydraulic retention time* (HRT) yang ditampialkan pada Gambar 3.1. HRT yang cepat menyebabkan tidak cukupnya waktu kontak antara nutrien dengan media, begitu juga dengan HRT yang lebih lama. Sebab pada penelitian ini peran mikroorganisme dianggap belum ada dengan penggunaan sampel artifisial. Dalam penelitian ini, HRT dipengaruhi oleh volume busa poliuretan di dalam media. Busa poliuretan memiliki kapasitas adsorpsi nitrat, meskipun rendah (Edwin et al., 2023).



Gambar 3.1. HRT menggunakan variasi laju alir dan variasi media kolom adsorpsi



Gambar 3.2. Penyisihan nitrat dengan kolom adsorpsi (a) Media 1 (b) Media 2 dan (c) Media 3

Tabel 3.3. Model adsorpsi untuk penyisihan nitrat menggunakan Media 3 (biochar : busa (2 : 1))

Q (mL/min)	Model Adam Bohart			Model Thomas			Model Yoon Nelson		
	K_{AB} (L/mg.min)	N_o (mg/L)	R^2	K_{TH} (ml/mg.min)	q_o (mg/g)	R^2	K_{YN} (1/min)	τ (min)	R^2
10	3×10^{-6}	46,69	0,20	$2,9\times10^{-5}$	0,08	**0,98**	$2,0\times10^{-3}$	20,25	**0,93**
20	3×10^{-6}	87,26	0,21	$3,5\times10^{-5}$	-0,31	**0,94**	$2,2\times10^{-3}$	1,20	**0,92**
30	2×10^{-6}	118,44	0,26	$4,3\times10^{-5}$	4,22	**0,91**	$2,4\times10^{-3}$	31,76	0,83

Dari pendekatan kurva *breakthrough* pada Tabel 3.3, didapatkan bahwa kolom adsorpsi biochar : busa (2 : 1), sebagai variasi media yang paling baik dalam menyisihan nitrat dalam penelitian ini, menunjukkan kecocokan dengan model Thomas dan juga model Yoon Nelson (R^2>0,9). Model Thomas mengasumsikan dua hal, yakni adsorpsi tidak dibatasi interaksi secara kimia, namun lebih kepada transfer massa pada permukaan adsorben, dan yang kedua yakni data mengikuti isotherm Langmuir serta kinetika orde dua. Model ini cocok untuk menggambarkan kurva *breaktrough* secara keseluruhan (An & Nguyen, 2015; Omitola dkk., 2022).

Model Yoon Nelson dapat memprediksi kondisi *breakthrough* di bagian akhir. Model ini dapat melengkapi model Adam Bohart. Model ini didasarkan pada asumsi bahwa laju probabilitas adsorpsi dan *breakthrough* ke permukaan adsorben berkurang sejalan dengan pengurangan probabilitas adsorpsi setiap molekul adsorbat (Fila & Kołodyńska, 2023).

4. KESIMPULAN

Penyisihan nitrat pada limbah cair diujicobakan menggunakan metode adsorpsi kolom dengan variasi rasio biochar dan busa poliuretan dan juga variasi laju alir pada penelitian ini. Hasil yang didapatkan menunjukkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi pada laju alir 30 mL/min dibandingkan variasi laju alir lainnya. Kapasitas sorpsi nitrat menggunakan variasi media biochar berturut-turut pada laju alir 30 mL/menit adalah adalah 4,10 mg/g dengan media biochar saja, 0,20 mg/g menggunakan media biochar : busa (1 : 1), dan 13,12 mg/gbiochar : busa (2 : 1). Dengan demikian, media biochar : busa (2 : 1) menunjukkan kapasitas adsorpsi nitrat paling tinggi dibandingkan variasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh waktu kontak dengan media memengaruhi penyisihan nitrat dengan media adsorpsi dalam kolom. Kandungan busa poliuretan yang lebih banyak meningkatkan waktu kontak aliran dalam media. Penyisihan nitrat dapat optimal dengan waktu kontak yang cukup antara kontaminan dengan media adsorpsi dalam kolom. Lanjutan penelitian dapat dilakukan untuk mempelajari performa kolom terhadap penyisihan kontaminan lainnya.

.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian Disertasi Doktor DIKTI tahun 2023 dan LPPM Universitas Andalas.

5. REFERENSI

Ahmedna, M., Johns, M. M., Clarke, S. J., Marshall, W. E., & Rao, R. M. (1997). Potential of agricultural by-product-based activated carbons for use in raw sugar decolourisation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *75*(1), 117–124. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199709)75:1<117::AID-JSFA850>3.0.CO;2-M

Aliaskari, M., & Schäfer, A. I. (2021). Nitrate, arsenic and fluoride removal by electrodialysis from brackish groundwater. *Water Research*, *190*. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116683

An, T., & Nguyen, H. (2015). *Removal and Recovery of Phosphorus From Municipal Wastewater By Adsorption Coupled With Crystallization*. *June*. https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/38985

Bouabidi, Z. B., El-Naas, M. H., & Zhang, Z. (2019). Immobilization of microbial cells for the biotreatment of wastewater: A review. *Environmental Chemistry Letters*, *17*(1), 241–257. https://doi.org/10.1007/s10311-018-0795-7

Dacewicz, E. (2021). *Polyurethane Foams for Domestic Sewage Treatment*. 1–19.

Edwin, T., Mera, M., Komala, P. S., Helard, D., & Bachtiar, V. S. (2021). Case study: Vertical distributions of both temperature and dissolved oxygen in Lake Diatas - Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *708*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/708/1/012027

Edwin, T., Putra, A. A., & Olivia, D. (2023). *Variasi Suhu Pirolisis Pembuatan Biochar Jerami Padi dalam Penyisihan Fosfat dan Amonium pada Air Limpasan Pertanian*. *21*(2), 444–448. https://doi.org/10.14710/jil.21.2.444-448

[a]Edwin, T., Mera, M., Komala, P. S., & Zukarnaini. (2023). The capacity of Polyurethane Sponge to Adsorb Nitrate, Ammonium, and Phosphate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1173*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012073

[b]Edwin, Tivany, Mera, M., Komala, P. S., & Zulkarnaini. (2023). Impact of Pyrolysis Temperature on the Removal of Nutrients Using Coarse Rice-Husk Biochar. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(12), 247–257. https://doi.org/10.12911/22998993/173379

Fila, D., & Kołodyńska, D. (2023). Fixed-Bed Column Adsorption Studies: Comparison of Alginate-Based Adsorbents for La(III) Ions Recovery. *Materials*, *16*(3). https://doi.org/10.3390/ma16031058

Karri, R. R., Sahu, J. N., & Chimmiri, V. (2018). Critical review of abatement of ammonia from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, *261*(2017), 21–31. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.03.120

Komala, P. S., Soeprobowati, T. R., Takarina, N. D., Subehi, L., Wojewódka-Przybył, M., Primasari, B., Edwin, T., Ridwan, R., Rahmadiningsih, E., & Mardatillah, R. (2023). Spatio-temporal Changes of Water Quality Based on Water Quality Index Method in Tropical Lake of Indonesia. *Water, Air, and Soil Pollution*, *234*(9), 1–17. https://doi.org/10.1007/s11270-

023-06599-9

Konneh, M., Wandera, S. M., Murunga, S. I., & Raude, J. M. (2021). Adsorption and desorption of nutrients from abattoir wastewater: modelling and comparison of rice, coconut and coffee husk biochar. *Heliyon*, *7*(11), e08458. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08458

Omitola, O. B., Abonyi, M. N., Akpomie, K. G., & Dawodu, F. A. (2022). Adams-Bohart, Yoon-Nelson, and Thomas modeling of the fix-bed continuous column adsorption of amoxicillin onto silver nanoparticle-maize leaf composite. *Applied Water Science*, *12*(5), 1–9. https://doi.org/10.1007/s13201-022-01624-4

Patel, H. (2020). Batch and continuous fixed bed adsorption of heavy metals removal using activated charcoal from neem (Azadirachta indica) leaf powder. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598-020-72583-6

You, H., Zhang, Y., Li, W., Li, Y., Ma, Y., & Feng, X. (2019). Removal of NO3-N in alkaline rare earth industry effluent using modified coconut shell biochar. *Water Science and Technology*, *80*(4), 784–793. https://doi.org/10.2166/wst.2019.321