

UJI COBA ARANG BATANG PISANG TERAKTIVASI PADA PENDEGRADASIAN FOSFAT PADA LIMBAH LAUNDRY

Nuryoto^{12*}, Shera D. Andini^{1 1}, Syifa Fauziah¹, dan Erlin Filiandini¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km. 3, Cilegon - Banten 42435.

² Magister Teknik Kimia, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Raya Pakupatan-Jakarta Km. 3, Serang - Banten.

*Email: nuryoto@untirta.ac.id

Abstrak

Usaha Laundry berkembang cukup pesat, dan tidak terlepas dari penggunaan detergen di dalam aplikasinya. Senyawa yang terdapat di dalam detergen salah satunya berupa fosfat, yang mana dalam kondisi berlebih dapat mengganggu keseimbangan ekosistem pada air yaitu menyebabkan eutrofikasi. Kandungan fosfat yang dihasilkan dari limbah suatu kegiatan usaha laundry yang diijinkan untuk dibuang ke badan air adalah 0,2 mg/liter. Untuk mendegradasi fosfat yang terdapat pada limbah laundry dapat memanfaatkan bioadsorben seperti arang batang pisang. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari seberapa besar pengaruh bioadsorben arang batang pisang yang telah diaktivasi menggunakan NaOH dan bagaimana pengaruhnya ketika dilakukan pengintegrasian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi proses difusi fosfat ke sisi aktif adsorben yaitu berupa massa adsorben, waktu kontak, dan kecepatan pengadukan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan massa adsorben, waktu kontak, dan kecepatan pengadukan berdampak positif terhadap kinerja bioadsorben dalam menjerap fosfat di dalam air limbah laundry. Kondisi terbaik diperoleh pada kecepatan pengaduk 600 rpm, massa adsorben 5 gram dan waktu kontak 80 menit dengan persentase degradasi fosfat sebesar 80,7% .

Kata kunci: laundry, fosfat, arang, aktif, pisang

Abstract

Laundry business is growing rapidly, and it cannot be irrespectively from the use of detergent in its application. One of the compounds contained in the detergent is phosphate, which in excess conditions can disrupt the balance of the aquatic ecosystem. It can caused eutrophication. The content of phosphate produced from the waste of laundry business activity that permitted to discharge into water bodies is 0.2 mg/liter. To degrade the phosphate contained in laundry waste, bioadsorbents such as banana stem charcoal would be very useful. The purposes of this research was to study the performance of banana stem charcoal bioadsorbent activated using NaOH and the effect when integrating the factors that affect the process of phosphate diffusion to the active side of the adsorbent, such as the mass of the adsorbent, contact time, and stirring speed. The results showed that the increase in adsorbent mass, contact time, and stirring speed had a positive impact on the performance of bioadsorbents in absorbing phosphate in laundry wastewater. The best condition was obtained at a stirring speed of 600 rpm, adsorbent mass of 5 grams and a contact time of 80 minutes by degradation percentage of phosphate was 80,7%.

Key word: laundry, phosphate, charcoal, activated, banana

1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup. Kualitas air dapat mengalami penurunan karena adanya kontaminan dari zat tertentu yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem di dalamnya (Susana, 2003). Oleh karena itu, menjaga kualitas air dengan cara mengendalikan zat pencemar yang terdapat di dalam air menjadi hal yang penting untuk dilakukan. Laundry merupakan suatu kegiatan usaha yang menawarkan jasa berupa mencuci

pakaian, kain dan material lain sejenisnya. Didalam aktivitas laundry penggunaan detergen tidak dapat dihindari, karena detergen mempunyai fungsi sebagai bahan untuk membersihkan dan menghilangkan kotoran yang menempel pada pakaian yang dicuci. Kandungan dari detergen diantaranya berupa surfaktan, builder dan filter. Dari ketiga kandungan tersebut terdapat zat fosfat yang ada dalam kandungan builder berupa Sodium Tripolofosfat (STPP) (Apriliani, 2017). Builder pada detergen berfungsi sebagai penguat yang

dapat membantu kerja surfaktan lebih optimal. Prinsip kerja *Builder* sendiri adalah mengurangi ion kalsium dan magnesium sehingga fungsi detergen sebagai pembersih dapat berkerja lebih efektif (Hudori & Soewondo, 2009).

Kandungan zat fosfat yang berlebih di dalam air dapat mengganggu keseimbangan ekosistem air yaitu akan menyebabkan *eutrofikasi* atau pengkayaan unsur hara secara berlebih. Fenomena *eutrofikasi* ditandai terjadinya ledakan pertumbuhan tanaman air secara tidak terkendali, sehingga akan menutupi sinar matahari yang masuk ke dalam perairan, dan juga berdampak pada penurunan kandungan oksigen yang terlarut di dalam air itu sendiri (Widyani, 2010). Tindakan pencegahan untuk mengatasi kondisi ini mutlak diperlukan guna menjaga kelangsungan makhluk hidup yang berada pada lingkaran ekosistem air tersebut dari kematian karena kurangnya asupan oksigen. Pendegradasian zat yang terlarut di dalam air seperti zat fosfat sebenarnya bisa dilakukan menggunakan bahan alam (Ikwan (2016), Purwitasari & Tussania (2022)) yang notabene jumlahnya melimpah dan kurang termanfaatkan dalam kehidupan seperti batang pohon pisang dan eceng gondok.

Sebenarnya penelitian terkait pendegradasian fosfat telah dikaji oleh beberapa peneliti pendahulu dengan bermacam-macam metode seperti Kusuma dkk (2019) menggunakan metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) menggunakan bantuan bakteri, Garmini dan Zairinayati (2022) menggunakan sekam padi, dan Rahimah dkk (2016) menggunakan koogulan kapur dan PAC. Secara umum pendegradasian fosfat yang dihasilkan dari observasi sebelumnya menunjukkan hasil yang cukup baik, tetapi masih belum memenuhi baku mutu limbah fosfat yang dipersyaratkan.

Pada penelitian ini dicoba menggunakan arang batang pisang yang telah diaktivasi, dengan harapan ketika arang batang pisang tersebut teraktivasi, maka proses penyerapan menjadi lebih maksimal dan kadar fosfat yang terkandung di dalam limbah akan memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Pemilihan adsorben dari batang pisang karena batang pisang tersedia melimpah dan nyaris belum termanfaatkan secara maksimal di dalam kehidupan di masyarakat, bahkan dibiarkan membusuk begitu saja. Kajian terkait

penggunaan batang pisang dengan merubahnya terlebih dahulu menjadi arang, dan selanjutnya dilakukan aktivasi pada dasarnya pernah dilakukan oleh Ikhwan (2016), tetapi hasilnya masih di atas baku mutu limbah fosfat yang dipersyaratkan yaitu di atas 0,2 ml/L. Observasi yang dilakukan Ikhwan (2016) yaitu dengan memvariasikan massa adsorben batang pisang pda rentang 5 - 15 gram, kecepatan pengadukan 100 rpm dan waktu kontak 4 jam.

Kadar fosfat akhir diperoleh pada kondisi terbaiknya yaitu 8,91 mg/L pada penambahan massa adsorben 15 gram. Untuk mendapatkan hasil pendegradasian fosfat di dalam air yang maksimal, maka dianggap perlu untuk dilakukan langkah-langkah penginterasian antara faktor-faktor yang mempengaruhi proses difusi fosfat dari badan cairan ke sisi aktif adsorben dan aktivasi yang sesuai agar kinerja adsorben menjadi lebih maksimal. Hal ini dimaksudkan agar fosfat dapat terdegradasi dengan baik dan memenuhi baku mutu air limbah fosfat yang dipersyaratkan untuk dibuang ke lingkungan.

Penelitian ini mencoba mengkaji lebih jauh dari penelitian Ikwan (2016) dengan mengintegrasikan faktor-faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah massa adsorben, waktu kontak dan kecepatan pengadukan. Untuk itu tujuan dari penelitian ini difokuskan dalam rangka mempelajari bagaimana kinerja bioadsorben arang batang pisang yang diaktivasi menggunakan NaOH ketika dilakukan pengintegrasian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi proses difusi fosfat ke sisi aktif adsorben yaitu berupa massa adsorben, waktu kontak, dan kecepatan pengadukan.

Pengintegrasian dilakukan agar proses difusi fosfat dari badan cairan ke sisi aktif adsorben menjadi lebih cepat, dan dimungkinkan fosfat akan terdegradasi oleh adsorben akan semakin maksimal. Terbukti dari pengamatan yang dilakukan oleh beberapa peneliti baik yang berhubungan dengan pengolahan limbah maupun pada reaksi kimia, diantaranya untuk kecepatan pengadukan oleh Nuryoto dkk.(2022), waktu kontak oleh Kurniawan dkk. (2022), dan massa adsorben oleh Garmini dan Zairinayati (2022), yang notabene proses pendegradasian zat yang terkandung pada suatu larutan menjadi lebih cepat dan konversi reaktan menjadi lebih besar. Sementara itu, NaOH dipilih sebagai aktivator didasari atas penelitian yang dilakukan oleh Islam dkk

(2017) yang mana karbon aktif yang telah dilakukan aktivasi menggunakan NaOH terjadi peningkatan porositas yang cukup signifikan dan struktur yang lebih seragam.

Hasil kajian yang lainnya, yang dilakukan oleh Liew dkk (2018) menunjukkan bahwa ketika arang pisang dilakukan aktivasi dengan NaOH dengan rasio 0,5 gram arang/gram NaOH terjadi perubahan karakteristik yang cukup signifikan yaitu luas permukaan dan volume mesopori awal sebelum dilakukan aktivasi masing-masing adalah $51 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $0,04 \text{ cm}^3/\text{g}$ menjadi $985 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $0,5 \text{ cm}^3/\text{g}$. Jika dituliskan proses aktivasi arang batang pisang menggunakan NaOH kurang lebih terjadi seperti yang tersaji pada Persamaan (1) (Islam dkk (2017)).



Secara teoritikal, semakin porous dan semakin seragam struktur adsorben maka dimungkinkan semakin baik proses penjerapan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena hambatan internal ketika fosfat masuk ke sisi aktif untuk berinteraksi dengan sisi aktif dari adsorben tersebut akan semakin kecil. Imbasnya proses removal fosfat akan mengalami peningkatan dan target guna memenuhi baku mutu limbah dapat terealisasi.

2. METODOLOGI

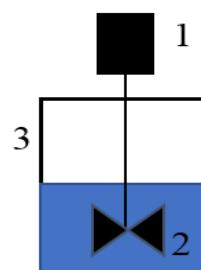
2.1. Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah berupa arang batang pisang jenis Pisang sepat madu yang dibeli dari Toko Sandy Hidayat (Online Shop). Untuk NaOH sebagai aktivator dibeli dari Rofa Laboratorium Center (Online Shop). Selanjutnya untuk limbah laundry diambil dari usaha laundry yang berada di Cilegon-Banten dengan kadar 30,964 mg/L (hasil uji menggunakan spektrofotometer Uv-Vis). Sebelum melangkah lebih jauh, guna memastikan apakah arang yang akan digunakan sebagai adsorben memenuhi standar sebagai adsorben atau tidak, maka dianggap perlu untuk melakukan pengujian kadar abu dan air yang mengacu pada standar baku yaitu Standar Nasional Indonesia 06.3730-1995 . Hasil uji kadar air diperoleh 3,1% dan kadar abu sebesar 6,0% (lihat Tabel 1). Besaran angka-angka tersebut masih masuk pada standar SNI 06.3730-1995, sehingga arang batang pisang sepat madu dapat digunakan sebagai adsorben.

Tabel 1. Karakteristik Arang Batang Pisang

Jenis Uji	SNI 06.3730-1995 (%) Maksimal	Hasil yang diperoleh (%)
Kadar Air	15	3,1
Kadar Abu	10	6,0

Untuk peralatan penelitian sendiri yang digunakan pada penelitian ini cukup sederhana, seperti yang tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematic peralatan penelitian penjerapan fosfat dengan adsorben arang batang pisang teraktivasi NaOH, (1) motor pengaduk, (2) batang pengaduk, dan (3) gelas kimia.

2.2. Prosedur Percobaan

Limbah laundry dimasukan ke dalam gelas kimia 500 ml sebanyak 100 ml. Arang batang pisang yang telah diaktivasi menggunakan NaOH dimasukan ke dalam gelas kimia yang terisi limbah laundry dengan massa tertentu (1, 3 dan 5 gram). Tahap selanjutnya menjalankan motor pengaduk pada kecepatan yang telah ditentukan (150, 300 dan 600 rpm) dengan waktu kontak tertentu pula (40, 60 dan 80 menit). Setelah tercapai waktu kontaknya, proses penjerapan dihentikan, dan diambil sampel sebanyak 10 ml untuk dianalisa fosfat yang tersisa di dalam cairan dengan menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Persentase penjerapan dihitung dengan Persamaan (2).

$$\%f = \frac{f_o - f_t}{f_o} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan,

%f = persentase fosfat yang terjerap, %

f_o= kadar fosfat mula mula, mg.L

f_t= kadar fosfat yang tersisa di badan cairan pada waktu tertentu, mg/L

Pada penelitian ini juga dicoba dilakukan telaah terhadap fenomena penjerapan yang terjadi yaitu dengan pendekatan model Langmuir (Persamaan 3a-b) dan Freundlich (Persamaan 4a-b). Hal ini dilakukan untuk mengetahui fenomena penjerapan yang terjadi, apakah terjadi dengan *multilayer* (Freundlich) atau *monolayer* (Langmuir).

$$\frac{x}{m} = \frac{qm K_L c}{1 + K_L c} \quad (3.a)$$

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{qm K_L c} + \frac{1}{qm} \quad (3.b)$$

$$\frac{x}{m} = K_f \cdot C^{1/n} \quad (4.a)$$

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad (4.b)$$

keterangan:

- x/m = jumlah dari adsorbat yang diserap per unit dari adsorben (mg/g)
- K_f = Konstanta Freundlich
- C = Konsentrasi adsorbat dalam larutan pada saat kesetimbangan (mg/L)
- 1/n = Ketidaklinieran (tanpa satuan)
- K_L = konstanta Langmuir
- qm = maksimum adsorbat yang dapat diserap (mg/g)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Aktivasi

Pada Tabel 2 terlihat bahwa arang batang pisang setelah proses aktivasi dengan NaOH mengalami peningkatan luas permukaan yang cukup signifikan yaitu dari 5,6 menjadi 138,2 m²/gram. Hasil ini memberikan informasi bahwa dimungkinkan zat-zat pengotor dalam arang seperti mineral-mineral anorganik dan tar tereduksi secara baik, sehingga dampaknya peningkatan luas permukaan adsorben (Yustinah dkk., 2015).

Dengan semakin luas permukaan adsorben maka akan semakin tinggi daya serap adsorben, dan ini terbukti. Ketika dilakukan pengujian daya jerapnya, adsorben yang telah dilakukan aktivasi mampu menjerap 1,8 mg/L (5,8%), sedangkan untuk adsorben yang belum dilakukan aktivasi hanya mampu menjerap 0,2 mg/L (0,8%). Hasil percobaan yang diperoleh cenderung serupa dengan yang dialami oleh Nurbaiti dkk. (2018), yang mana adsorben yang diaktivasi mampu menjerap iodium sebesar 2903,38 mg/g, sedangkan adsorben yang tidak diaktivasi hanya sebesar 2695,68

mg/gram. Tetapi jika dilakukan persentase penurunnya masih tergolong sangat kecil untuk hasil pada uji penelitian ini yaitu hanya 5,8% (untuk adsorben yang telah diaktivasi). Hasil ini tentunya masih jauh dari yang diharapkan, walaupun kalau dilihat dari hasil observasi yang dilakukan Apriliani (2017) masih lebih baik, karena pada penelitian yang dilakukan Apriliani dkk. (2017) hanya mampu menjerap ion fosfat sebesar 0,377 mg/L (Apriliani dkk., 2017). Berdasarkan fakta tersebut, maka faktor-faktor yang mempengaruhi proses difusi akan memegang peranan yang cukup penting guna meningkatkan kinerja adsorben di dalam sistem penjerapan.

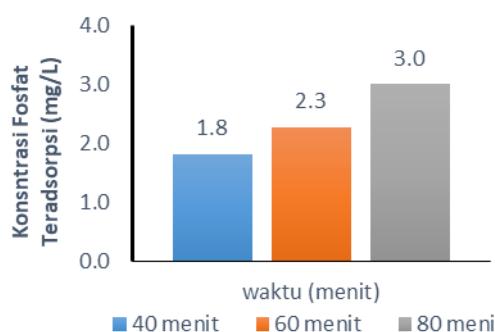
Tabel 2 Pengaruh Aktivasi pada massa adsorben 1 gram, kecepatan pengaduk 150 rpm dan waktu kontak 60 menit

	Uji BET		Uji Daya Serap		
	A, m ² /g	Co, mg/L	Ct, mg/L	f, %	
Arang Teraktivasi	138,2	30,9	1	5	
Arang tanpa diaktivasi	5,6		0,2	0,8	

Keterangan: Co : kadar fosfat awal, Ct : kadar fosfat setelah degradasi

3.2 Pengaruh Waktu Kontak

Peningkatan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang diberikan berdampak positif terhadap proses penjerapan yang terjadi (lihat Gambar 2). Pada waktu kontak 40 menit kadar fosfat teradsorpsi sebesar 1,8 mg/L, selanjutnya pada waktu kontak 60 menit sebesar 2,2 mg/L, dan pada saat ditingkatkan menjadi 80 menit, kadar fosfat yang terjerap sebesar 3,0 mg/L. Jika dibuat dalam bentuk persentase adalah 5,8% (untuk waktu kontak 40 menit), 7,44% (untuk waktu kontak 60 menit), dan 9,71% (untuk waktu kontak 80 menit). Fenomena ini terjadi karena semakin lama waktu kontak maka akan memungkinkan proses interaksi dan penempelan molekul adsorbat ke adsorben akan berlangsung lebih baik.



Gambar 2 Pengaruh waktu kontak terhadap konsentrasi fosfat pada kecepatan pengadukan 150 rpm, dan massa adsorben 1 gram

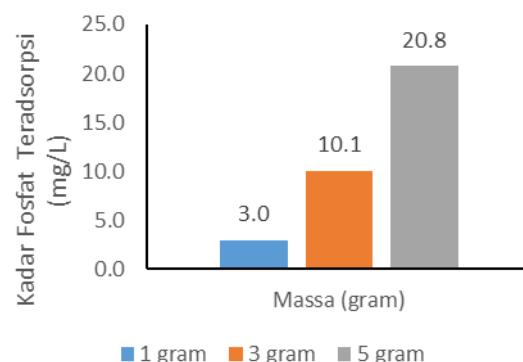
Hasil pada Gambar 2 mempunyai kemiripan dengan apa yang dilakukan oleh Syauqiah dkk. (2011) dan Nainggolan dkk. (2019). Syauqiah dkk (2011) melakukan observasi variasi waktu kontak 15, 30, 45 dan 60 menit, dengan penyerapan tertinggi diperoleh pada waktu kontak yaitu 60 menit yang mampu menjerap kadar Fe sebesar 0,24 mg/L. Pada Nainggolan dkk. (2019) pada penyerapan ion fosfat menggunakan adsorben arang aktif tongkol jagung yang dilakukan pada waktu kontak 20, 40, 60, 80, 100, 120 140, dan 160 menit. Hasinya kondisi waktu kontak optimum diperoleh pada waktu kontak 80 menit dengan konsentrasi ion fosfat yang terjerap sebesar 3,21 mg/L. Sebaliknya pada rentang waktu 100-160 menit justru penyerapan mengalami penurunan. Hasil ini terjadi karena dimungkinkan adsorben telah mencapai titik jenuh. Artinya sebagian besar atau bahkan seluruh sisi aktif aksorben telah berikan dengan ion fosfat, sehingga walaupun waktu kontak ditambahkan tetap tidak akan ada pengaruhnya.

3.3 Pengaruh Massa Adsorben

Peningkatan massa adsorben yang diberikan pada sistem penyerapan, berimbang pada peningkatan kadar fosfat yang teradsorpsi, yaitu 3,0 mg/L atau 9,6% (untuk massa adsorben 1 gram), 10,1 mg/L atau 32,5% (untuk massa adsorben 3 gram), dan 20,8 mg/L atau 67,2% pada massa adsorben 3 gram (lihat Gambar 3).

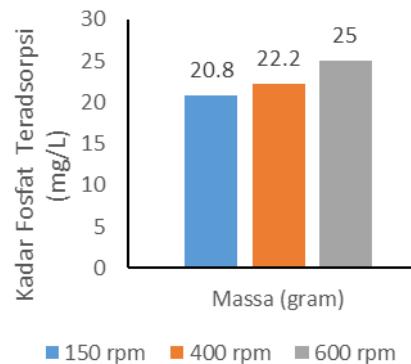
Hasil ini memberikan informasi bahwa semakin banyak adsorben yang diberikan pada sistem penyerapan, maka akan semakin besar potensi fosfat untuk berinteraksi dengan adsorben, sehingga proses penyerapan mengalami peningkatan. Kondisi serupa dialami juga oleh

Nainggolan dkk. (2019) yang melakukan kajian serupa yaitu melakukan observasi pengaruh massa adsorben tongkol jagung untuk mengadsorpsi ion fosfat dengan variasi massa adsorben 1, 2 dan 3 gram. Kondisi terbaik diperoleh pada massa adsorben 3 gram dengan konsentrasi fosfat teradsorpsi sebesar 5,0 mg/L.



Gambar 3 Pengaruh massa adsorben terhadap konsentrasi fosfat pada kecepatan pengadukan 150 rpm, dan waktu kontak 80 menit.

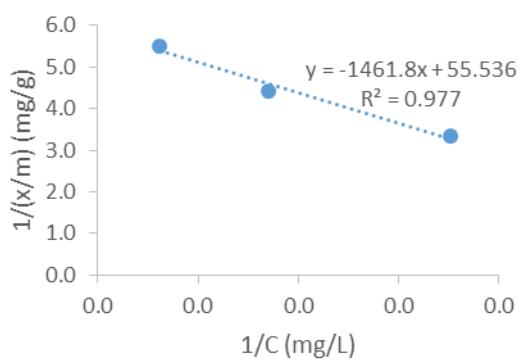
3.4 Pengaruh Kecepatan Pengadukan



Gambar 4. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konsentrasi fosfat pada massa adsorben 5 gram dan waktu kontak 80 menit.

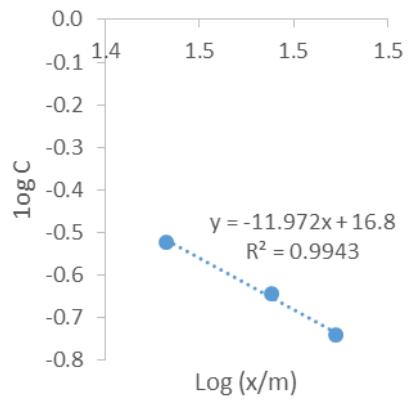
Semakin tinggi kecepatan pengadukan yang diberikan ternyata berdampak baik terhadap proses penyerapan yang terjadi (lihat Gambar 4). Terlihat pada saat kecepatan pengadukan 150 rpm fosfat yang teradsorpsi sebesar 20,8 mg/L (terdegradasi 67,2%), pada 300 rpm fosfat teradsorpsi sebesar 22,2 mg/L (terdegradasi 71%) dan 600 rpm fosfat yang adsorpsi sebesar 25,00 mg/L (terdegradasi

80,7%). Hasil ini logis, karena semakin kecepatan pengadukan dinaikkan, maka proses difusi suatu zat ke bagian aktif adsorben atau katalis semakin besar, karena tahanan eksternal akan mengalami penurunan (Fogler, 2006). Kecenderungan serupa dialami juga oleh Nainggolan dkk. (2019) yang melakukan observasi pada kecepatan pengaduk 100, 200 dan 300 rpm. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan yang diberikan, maka proses penyerapan berjalan lebih cepat, dengan

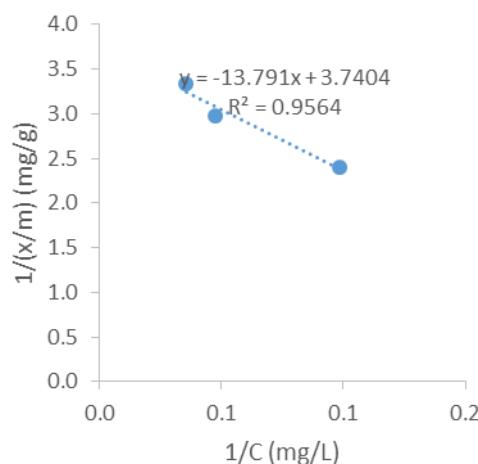


(a)

Waktu kontak

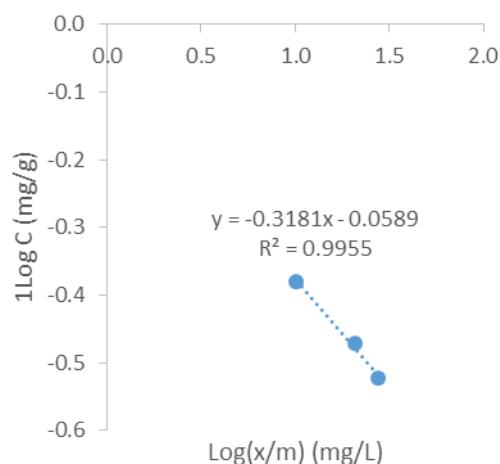


(b)

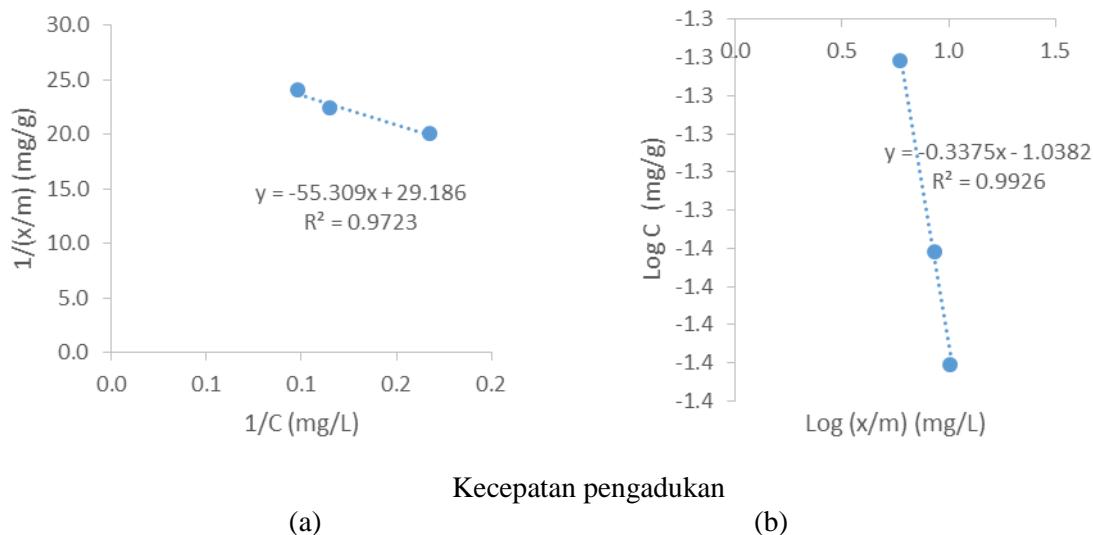


(a)

Massa adsorben



(b)

**Gambar 4. Kurva model penjerapan : (a) Langmuir dan (b) Freundlich**

Pengujian persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) semuanya diatas 0,9 (mendekati 1). Semakin mendekati 1 harga dari R^2 , maka semakin identik dengan kondisi riilnya. Dari Tabel 3 meperlihat bahwa semua variasi baik waktu kontak, massa adsorben, dan kecepatan pengadukan mengikuti model model Freundlich dibandingkan model Langmuir. Hal ini didasarkan pada nilai R^2 model Freundlich lebih besar dari model Langmuir. Kondisi ini memberikan informasi bahwa adsorpsi fosfat pada bioadsorben arang batang pisang pada penelitian ini terdapat lebih dari satu lapisan (*multilayer*) dan situs aktifnya heterogen.

Tabel 3. Nilai koefisien determinasi (R^2)

Variasi	R^2	
	Langmuir	Freundlich
Waktu Kontak	0,9770	0,9943
Massa adsorben	0,9564	0,9955
Kecepatan pengadukan	0,9723	0,9926

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan bahwa bioadsorben dari arang batang pisang yang telah diaktifasi menggunakan NaOH menunjukkan kinerja yang cukup baik dibandingkan ketika belum dilakukan aktivasi, dengan kondisi terbaik

diperoleh pada waktu kontak 80 menit, massa adsorben 5gram, dan kecepatan pengadukan 600 rpm yaitu mampu mendegradasi fosfat sebesar 80,7%. Jika dikaitkan dengan model penjerapan yang sering dipakai yaitu Langmuir dan Freundlich, maka pada kasus penelitian ini, yang dilakukan pada rentang waktu kontak 40-80 menit, massa adsorben 1-5 gram, dan kecepatan pengadukan 150 - 600 rpm cenderung mendekati model penjerapan Freundlich dibandingkan model Langmuir.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Rafiif Nur Tahta Bagaskara yang telah berkontribusi dalam membantu penyusunan artikel ini, sehingga artikel ini dapat tersusun dan terpublikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, D. E., Narwati, N., & Triastuti, E. (2017), Bioadsorben Kulit Jagung (*Zea Mays ssp. mays*) Untuk Menurunkan Fosfat (PO43-) Pada Limbah Cair. *Jurnal Penelitian Kesehatan" SUARA FORIKES"(Journal of Health Research" Forikes Voice"*, 8(4), 235-240.
- Apriyani, N. (2017), Penurunan kadar surfaktan dan sulfat dalam limbah laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 2(1), 37-44.
- Fogler, H. S (2006), *Elements of chemical reaction engineering*. 4th Edition Pearson Educacion.
- Garmini, R., & Zairinayati, Z. (2022), Penurunan Kadar Fosfat Limbah Cair Usaha Laundry Dengan Karbon aktif

- Sekam Padi. *Jurnal Delima Harapan*, 9(1), 71-76.
- Hudori, H., & Soewondo, P. (2009), Pengolahan Deterjen Menggunakan Teknologi Elektrokoagulasi dengan Elektroda Aluminium. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 1(2), 117-125.
- Ikwan, Z. (2016), Effectiveness of Keladi Adsorbent, Hyacinth and Banana Stems on Laundry Waste Phosphate.
- Islam, M. A., Ahmed, M. J., Khanday, W. A., Asif, M., & Hameed, B. H. (2017), Mesoporous activated carbon prepared from NaOH activation of rattan (*Lacosperma secundiflorum*) hydrochar for methylene blue removal. *Ecotoxicology and environmental safety*, 138, 279-285.
- Kurniawan, T., Nuryoto, N., Milenia, N. D., Lestari, K. D., Nandiyanto, A. B. D., Bilad, M. R., ... & Mahlia, T. M. I. (2022), Improved Natural Mordenite as Low-Cost Catalyst for Glycerol Acetalization into Solketal-An Effective Fuel Additive. In *Materials Science Forum* (Vol. 1057, pp. 71-87). Trans Tech Publications Ltd.
- Kusuma, D. A., Fitria, L., & Kadaria, U. (2019), Pengolahan Limbah Laundry dengan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), 001-010.
- Liew, R. K., Azwar, E., Yek, P. N. Y., Lim, X. Y., Cheng, C. K., Ng, J. H., ... & Lam, S. S. (2018), Microwave pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: a new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption. *Bioresource technology*, 266, 1-10.
- Nainggolan, Ira T., Herman, S. & Yenti, S. (2019), Penentuan Model Kesetimbangan Adsorpsi Ion Fosfat Menggunakan Arang Aktif Tongkol Jagung dengan Variasi Massa Arang Aktif dan Kecepatan Pengaduk . *Fakultas Teknik Universitas Riau Vol. 6 Edisi 1*.
- Nurbaeti, L., Prasetya, A. T., & Kusumastuti, E. (2018), Arang Ampas Tebu (Bagasse) Teraktivasi Asam Klorida sebagai Penurun Kadar Ion H₂PO₄. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 132-139.
- Nuryoto, N., Jayanti, D. A., & Findilina, E. (2022), Uji Coba Zeolit Alam Klinoptilolit Sebagai Katalis Pada Pembuatan Bioaditif Dari Gliserol Dan Asam Asetat. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 7(1), 51-58.
- Purwitasari, D. G., & Tussania, R. (2022), Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) Pada Kadmium Sulfat (CdSO₄) Menggunakan Batang Pisang Sebagai Adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 6(1), 52-57.
- Rahimah, Z., Heldawati, H., & Syauqiah, I. (2016), Pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan kapur dan PAC. *Konversi*, 5(2), 52-59.
- Suartini, N., Jamaluddin, J., & Ihwan, I. (2018), Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Buah Sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg) Sebagai Adsorben Dalam Perbaikan Mutu Minyak Jelantah. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 4(2), 152-165.
- Susana, T. (2003), Air sebagai sumber kehidupan. *Oseana*, 28(3), 17-25.
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011), Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Info-Teknik*, 12(1), 11-20.
- Widiyani, P. (2010), Dampak dan Penanganan Limbah Deterjen. *Program studi kesehatan masyarakat Veteriner, Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor*.
- Yustinah, Y., Hartini, H., & Zuliani, Z. (2015). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Naoh pada Proses Pembuatan Arang Aktif terhadap Kualitas Minyak Bekas Setelah Proses Pemurnian. *Prosiding Semnastek*.