

Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok dan Karbon Aktif Tempurung Nipah sebagai Biosorben untuk Pengolahan Limbah Cair Laundry

Utilization of Kepok Banana Peel Activated Carbon and Nipa Shell Activated Carbon as Biosorbents for Laundry Wastewater Treatment

Ilma Fadlilah^{a*}, Ayu Pramita^a, Nurlinda Ayu Triwuri^a, Heni Anggorowati^b

^aPoliteknik Negeri Cilacap, Jl. Dr Soetomo No. 1, Cilacap, Jawa Tengah, 53212, Indonesia

^bUniversitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, 55283,, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 12 Mwi 2023
Diterima dalam revisi 28 Juni 2023
Diterima 29 Juni 2023
Online 3 Juli 2023

ABSTRAK: Penggunaan karbon aktif kulit pisang kepok (AC-KPK) dan karbon aktif tempurung nipah (AC-TN) untuk mengadsorpsi ion fosfat dalam limbah laundry telah berhasil dilakukan. Karakterisasi karbon aktif dilakukan dengan SEM-EDX. Hasil analisis morfologi menunjukkan ukuran pori pada AC-KPK dan AC-TN termasuk dalam kategori makropori. Kandungan unsur pada adsorben AC-KPK adalah C 74,9%; O 23,6% dan K 1,5%, sedangkan pada adsorben AC-TN teramati bahwa unsur-unsur C 70,7%; O 25,5%; K 2,0% dan elemen lain seperti Ca, Na, Mg, dan Cl dalam jumlah kecil terkandung di dalamnya. Waktu kontak optimum yang dibutuhkan AC-KPK untuk mengadsorpsi ion fosfat dalam limbah cair laundry adalah 15 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 98,83%, adsorben AC-TN adalah 5 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99,52%, dan kombinasi AC-KPK&AC-TN menghasilkan waktu kontak 5 menit dengan efisiensi adsorpsi 99,91%. Kinetika adsorpsi ion fosfat dengan ketiga media adsorben mengikuti model *pseudo second order* dengan nilai kecepatan adsorpsinya untuk adsorben AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi AC-KPK & AC-TN berturut-turut adalah 3,9400 g/mg.min; -28,7119 g/mg.min; dan -10,8895 g/mg.min.

Kata Kunci: Karbon Aktif; SEM-EDX; Tempurung Nipah; Kulit Pisang Kepok; Kinetika Adsorpsi

ABSTRACT: The use of kepok banana peel activated carbon (AC-KPK) and nipa shell activated carbon (AC-TN) to adsorb phosphate ions in laundry waste has been successfully carried out. Characterization of activated carbon was carried out with SEM-EDX. The results of the morphological analysis showed that the pore sizes in AC-KPK and AC-TN were included in the macropore category. The elemental content of the AC-KPK adsorbent is C 74.9%; 23.6% O and 1.5% K, whereas in the AC-TN adsorbent it was observed that C elements were 70.7%; O 25.5%; K 2.0% and other elements such as Ca, Na, Mg and Cl are contained in small quantities. The optimum contact time needed by AC-KPK to adsorb phosphate ions in laundry wastewater is 15 minutes with an adsorption efficiency of 98.83%, the AC-TN adsorbent is 5 minutes with an adsorption efficiency of 99.52%, and the combination of AC-KPK&AC-TN resulted in a contact time of 5 minutes with an adsorption efficiency of 99.91%. The adsorption kinetics of phosphate ions with the three adsorbent media followed the pseudo second order model with adsorption rates for the adsorbents AC-KPK, AC-TN, and the combination AC-KPK & AC-TN respectively 3.9400 g/mg.min; -28.7119 g/mg.minute; and -10.8895 g/mg.min.

Keywords: Activated Carbon; SEM-EDX; Nipa shell; Kepok Banana Peel; Adsorption Kinetics

1. Pendahuluan

Usaha laundry merupakan salah satu sektor jasa yang menawarkan pelayanan cuci dan setrika pakaian yang saat ini sedang berkembang. Masyarakat yang tinggal di perkotaan maupun di pelosok daerah banyak yang menggunakan jasa laundry ini karena lebih praktis. Di sisi lain usaha laundry menghasilkan limbah yang langsung

dibuang ke badan air terdekat yang berakibat menurunnya kualitas lingkungan.

Penggunaan deterjen pada usaha laundry dapat menghasilkan air limbah yang berpotensi mencemari air dan tanah. Jenis deterjen yang umum digunakan yaitu deterjen anionic, deterjen kationik dan deterjen nonionik (Bajpai & Tyagi, 2016). Kandungan detergen pada laundry adalah

* Corresponding Author

Email Address: ilma.fadlilah@pnc.ac.id

surfaktan yang digunakan sebagai bahan pembersih kotoran pada pakaian dan menurunkan tegangan permukaan. Surfaktan yang mengandung *anionic surfactant* seperti *Linear alkyl benzene sulfonates* (LAS) maupun *cationic surfactant* seperti garam ammonium bersifat *toxic* dan sulit terdegradasi, sehingga keberadaan senyawa ini dapat mempengaruhi kehidupan organisme perairan (Rahimah et al., 2016); (Nedi & Pakpahan, 2017). Bajpai & Tyagi (2016) menambahkan bahwa kandungan fosfat pada surfaktan yang masuk ke badan air secara berlebihan dapat menyerap oksigen di dalam air sehingga menyebabkan kematian terhadap organisme air. Untuk mengurangi dampak negatif dari air limbah usaha laundry yang telah dipaparkan sebelumnya, diperlukan proses pengolahan air limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan.

Metode adsorpsi merupakan alternatif teknologi sederhana dan mudah diaplikasikan untuk mengolah air limbah usaha laundry. Pemilihan teknologi adsorpsi dikarenakan menghasilkan efisiensi tinggi, sifat-sifat kesesuaian yang luas, regenerasi yang mudah dan kompatibel terhadap lingkungan (Li et al., 2016). Media yang digunakan untuk menyerap zat diadsorpsi adalah adsorben. Adsorben yang sering digunakan adalah karbon aktif atau *activated carbon* (AC). Karbon aktif memiliki diameter pori yang kecil, ketahanan abrasi yang tinggi, dan luas permukaan yang cukup besar untuk digunakan dalam proses adsorpsi (Gawande et al., 2017). Karbon aktif yang ditawarkan di pasaran menggunakan bahan awal yang tidak terbarukan dan masih dianggap mahal. Sehingga diperlukan kajian tentang alternatif karbon aktif sebagai adsorben yang ramah lingkungan dan biaya yang murah seperti karbon aktif dari bahan awal limbah sektor pertanian.

Tumbuhan pisang mudah tumbuh di berbagai tempat di Indonesia dan dapat dipanen sepanjang tahun. Disamping itu merebaknya penjual gorengan yang menggunakan pisang kepok (*Musa acuminata x balbisiana*) sebagai bahan baku menghasilkan limbah kulit pisang yang semakin banyak. Kulit pisang menghasilkan limbah tertinggi sekitar 30-40% dibandingkan dengan seluruh penggunaan buahnya. Kulit pisang mengandung sekelompok senyawa kimia seperti gugus karboksil, hidroksil dan amida yang berperan penting pada proses adsorpsi (Mohammed & Chong, 2014).

Tanaman nipah (*Nypa fruticans Wurmb*) banyak ditemukan di pantai atau daerah air payau. Tanaman ini dapat melindungi bibir pantai dari proses abrasi karena adanya gelombang laut. Buah nipah sebelumnya dimanfaatkan sebagai bahan pangan (Dalming et al., 2018); (Khairi et al., 2020). Sedangkan pemanfaatan tempurung nipah saat ini masih sangat terbatas. Tempurung nipah mengandung selulosa yang tinggi sehingga dapat menjadi sumber karbon untuk sintesis karbon aktif (Tamunaidu & Saka, 2011). Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini mengkaji kemampuan karbon aktif kulit pisang kepok (AC-KPK) dan karbon aktif tempurung nipah (AC-TN) dalam menurunkan kadar fosfat dalam limbah cair industri laundry.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Limbah cair laundry, serbuk AC-KPK & AC-TN teraktivasi KOH yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Fadlilah et al., 2022), kertas saring, pengaduk magnet, reaktor *batch*, *stopwatch*, Spektrofotometer UV-VIS, dan SEM-EDX.

2.2 Karakterisasi Material Adsorben

Karakterisasi material adsorben meliputi analisis morfologi permukaan karbon aktif dan analisis persentase unsur dalam material karbon aktif dengan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX).

2.3 Adsorpsi Ion Fosfat dalam Limbah Cair Laundry

Proses adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan jenis adsorben, yaitu adsorpsi dengan AC-KPK, adsorpsi dengan AC-TN, dan adsorpsi dengan kombinasi AC-KPK & AC-TN. Mengacu penelitian Ratnawati et al., (2019), 500 ml sampel limbah cair laundry ditambahkan 5 g AC-KPK. Adsorpsi dilakukan dengan pengadukan pada suhu ruang secara *batch*. Variasi waktu kontak yang dilakukan adalah selama 0, 5, 15, 30, 45, dan 60 menit. Setelah proses adsorpsi, limbah tersebut disaring dan diuji kadar fosfatnya menggunakan Spektrofotometer. Metode yang sama juga dilakukan pada proses adsorpsi dengan AC-TN dan kombinasi AC-KPK : AC-TN dengan rasio 1:1, yaitu dengan menambahkan 2,5 g AC-KPK dan 2,5 g AC-TN ke dalam 500 ml limbah cair laundry.

2.4 Analisis Data

2.4.1 Efisiensi Adsorpsi

Data yang dihasilkan dari analisis menggunakan Spektrofotometer adalah berupa konsentrasi fosfat. Adanya nilai konsentrasi fosfat sebelum dan sesudah proses adsorpsi dapat untuk mengetahui efisiensi dari proses adsorpsi melalui persamaan (1):

$$\text{Efisiensi adsorpsi, \%} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

C_i = konsentrasi fosfat awal dalam air limbah

C_e = konsentrasi fosfat akhir dalam air limbah

2.4.2 Persamaan pseudo-first order

Dalam proses adsorpsi, studi kinetika reaksi diperlukan untuk mengetahui laju reaksi kimia. Persamaan kinetika AC dalam menyerap kadar fosfat dalam air limbah laundry meliputi:

Persamaan *pseudo-first order* Lagergren diekspresikan pada persamaan berikut:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (2)$$

Keterangan:

q_e & q_t = jumlah zat yang teradsorpsi pada kesetimbangan dan pada waktu ke t , mg/g

k_1 = konstanta kecepatan *pseudo-first order*, menit⁻¹

Nilai k_1 dan q_e diperoleh dari nilai *slope* dan intersep dengan cara memplotkan $\ln(q_e - q_t)$ vs t (Ali et al., 2016).

2.4.3 Persamaan *pseudo-second order*

Persamaan *pseudo-second order* dijabarkan pada persamaan berikut:

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

Keterangan:

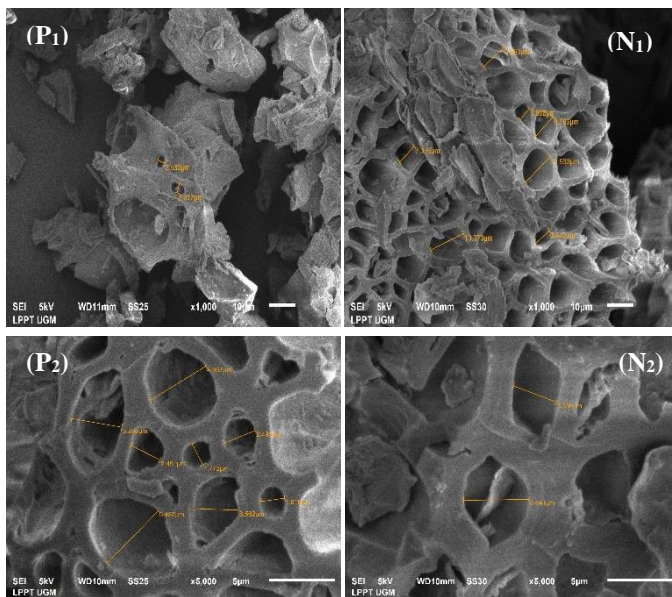
q_e & q_t = jumlah zat yang teradsorpsi pada kesetimbangan dan pada waktu t , mg/g

k_2 = konstanta kecepatan *pseudo-second order*, g/mg.menit

Nilai k_2 dan q_e diperoleh dari nilai *slope* dan intersep dengan cara memplotkan linier t vs t/q_t (Kostoglou & Karapantsios, 2022).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Material Adsorben



Gambar 1. Hasil analisis dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) AC-KPK perbesaran 1000X (P₁); AC-KPK perbesaran 5000X (P₂); AC-TN perbesaran 1000X (N₁); AC-TN perbesaran 5000X (N₂)

Untuk mengetahui morfologi permukaan, ukuran pori dan persentase unsur dalam AC-KPK dan AC-TN dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX). Analisis dilakukan pada material adsorben karbon aktif kulit pisang kepek (AC-KPK) dan karbon aktif tempurung nipah (AC-TN).

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada perbesaran 1000 kali, morfologi permukaan AC-KPK terlihat hanya ada beberapa pori yang terbentuk dan persebarannya tidak merata. Hal ini dapat disebabkan karena lama waktu

perendaman pada saat proses aktivasi menyebabkan devolatilisasi, sehingga proses pengembangan porinya tidak merata (Megiyo et al., 2017). Ukuran pori yang terukur adalah 2,530 μm dan 2,912 μm . Pada perbesaran 5000 kali, ukuran pori AC-KPK terukur sekitar 1,722 μm hingga 5,487 μm . Sedangkan morfologi permukaan AC-TN terlihat lebih banyak pori yang terbentuk dan lebih merata persebarannya dibandingkan dengan morfologi dari AC-KPK pada perbesaran 1000 kali. Ukuran pori AC-TN pada terlihat di antara 4,808 μm hingga 13,370 μm . Ukuran pori pada AC-KPK dan AC-TN termasuk dalam kategori makropori ($> 50 \text{ nm}$) (Ferawati & Susanti, 2021), dimana diameter pori ini sebagai tempat untuk menjerap fluida atau adsorbat.

Tabel 1. Komposisi unsur karbon aktif tempurung nipah dan karbon aktif kulit pisang kepek

Adsorben	Komposisi unsur (%Atomic)						
	C	O	K	Ca	Na	Mg	Cl
AC-KPK	74,9	23,6	1,5	-	-	-	-
AC-TN	70,7	25,5	2,0	0,6	0,6	0,3	0,2

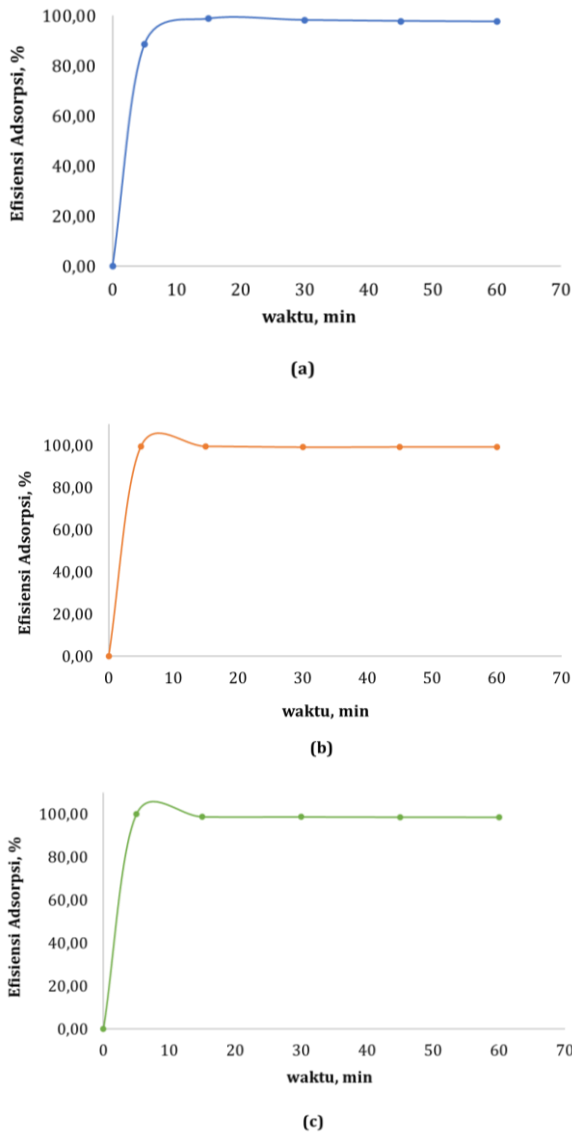
Tabel 1 menyajikan hasil analisis komposisi unsur dengan menggunakan SEM-EDX. Untuk adsorben AC-KPK, unsur yang terdeteksi adalah karbon (C), oksigen (O) dan kalium (K) dengan masing-masing kuantitas fraksi atomiknya adalah sebesar 74,9%; 23,6% dan 1,5%. Serupa dengan penelitian sebelumnya, Fajarwati et al., (2020) mensintesis karbon aktif kulit pisang kepek untuk mengadsorpsi ion Pb(II). Hasil analisis kandungan unsurnya mendapatkan hal yang sama bahwa komposisi unsur pada karbon aktif kulit pisang kepek terdiri dari C, O, dan K.

Pada adsorben AC-TN teramati bahwa unsur-unsur C, O, K, Ca, Na, Mg, dan Cl terkandung di dalamnya. EDX mengidentifikasi keberadaan karbon (C), Oksigen (O), dan Kalium (K) sebagai elemen utama dengan komposisi masing-masing adalah 70,7%; 25,5% dan 2,0%. Elemen selain C,O dan K muncul dengan jumlah fraksi yang kecil pada permukaan adsorben AC-TN. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya Mariana et al., (2023) yang mensintesis karbon aktif dari cangkang nipah mendapatkan komponen utama penyusun karbon aktif tersebut adalah Karbon, Oksigen dan Kalium dengan beberapa unsur lainnya dalam fraksi yang kecil seperti Natrium, Aluminium, Silika dan Sulfur.

3.2 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Ion Fosfat dalam Limbah Cair Laundry

Sebelum proses adsorpsi dilakukan, sampel limbah cair laundry dilakukan karakterisasi awal untuk mengetahui kadar fosfat dalam sampel. Hasil analisis kadar fosfat dalam sampel limbah cair laundry adalah sebesar 23 mg/L. Kadar fosfat yang didapatkan mengindikasikan bahwa adanya kandungan deterjen dan softener yang tinggi dalam sampel air limbah laundry. Detergen digunakan sebagai agen

pelunak terhadap air sadah dan membantu mengangkat kotoran dimana tersusun dari surfaktan dengan rantai panjang yang mengandung gugus hidrofilik dan hidrofobik. Gugus hidrofilik yang terkandung dalam detergen adalah fosfat, sulfonat, sulfat dan karboksilat (Bajpai & Tyagi, 2016).



Gambar 2. Hubungan antara waktu kontak dan efisiensi adsorpsi on fosfat dengan AC-KPK (a); AC-TN (b); dan kombinasi AC-KPK & AC-TN (c)

Waktu kontak adsorpsi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai dari efisiensi adsorpsi. Waktu kontak yang digunakan pada penelitian ini adalah 0, 5, 15, 30, 45, dan 60 menit pada masing-masing media adsorben yaitu AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi AC-KPK & AC-TN.

Gambar 2 merupakan grafik pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi adsorpsi untuk media adsorben AC-KPK (a), AC-TN (b) dan kombinasi keduanya (c). Untuk media adsorben AC-KPK (Gambar 2.a), efisiensi adsorpsi pada waktu kontak 5 menit dan 15 menit mengalami kenaikan.

Peningkatan efisiensi adsorpsi disebabkan oleh tersedianya banyak situs kosong pada permukaan adsorben pada kondisi awal yang akan terisi dengan bertambahnya waktu kontak (Singh et al., 2020). Efisiensi adsorpsi mulai menurun pada waktu kontak 30 menit sampai dengan 60 menit. Penurunan efisiensi adsorpsi disebabkan karena permukaan pada material adsorben telah jenuh dan terjadi proses desorpsi (Tsaniatri & Hargono, 2021), sehingga tidak mampu menyerap ion fosfat kembali dan menurunkan nilai efisiensi adsorpsi. Waktu kontak optimum proses adsorpsi dengan media adsorben AC-KPK adalah selama 15 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 98,83%. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, Singh et al. (2020) menggunakan karbon aktif dari kulit pisang sebagai adsorben *Rhodamine B* dalam larutan berair. Penelitian ini mendapatkan efisiensi adsorpsi maksimum pada waktu kontak selama 60 menit.

Proses adsorpsi ion fosfat dengan media AC-TN menghasilkan waktu kontak optimum lebih cepat dan efisiensi adsorpsi lebih tinggi dibandingkan dengan proses adsorpsi menggunakan AC-KPK. Efisiensi adsorpsi ion fosfat menggunakan media adsorben AC-TN mencapai 99,52% pada waktu kontak optimum 5 menit (Gambar 2b). Mariana et al., (2023) mensintesis cangkang buah nipah menjadi karbon aktif dengan NaOH sebagai aktivator yang diaplikasikan untuk menyerap ion Hg^{2+} . Hasil dari penelitian ini didapatkan kinerja adsorpsi ion Hg^{2+} paling tinggi dicapai pada waktu adsorpsi selama 240 menit. Perbedaan hasil penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya dapat dimungkinkan karena perbedaan luas permukaan, situs aktif, distribusi *zeta potential* yang dapat mempengaruhi perpindahan massa untuk proses adsorpsi (Mariana et al., 2023).

Proses adsorpsi ion fosfat dengan media adsorben kombinasi AC-KPK & AC-TN menghasilkan efisiensi adsorpsi paling tinggi dibandingkan dengan adsorpsi menggunakan media adsorben baik AC-KPK maupun AC-TN tanpa dikombinasikan. Proses adsorpsi menggunakan kombinasi dari kedua adsorben tersebut menghasilkan waktu kontak optimum 5 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99,91% Gambar 2c). Penelitian Kamal et al., (2019) juga mendapatkan hal yang serupa, bahwa mengkombinasikan karbon aktif dari beberapa *raw material* seperti kulit kenari, ampas tebu, dan sekam padi pada proses adsorpsi air limbah menunjukkan hasil terbaik dibandingkan dengan proses adsorpsi dengan media karbon aktif yang tidak dikombinasikan.

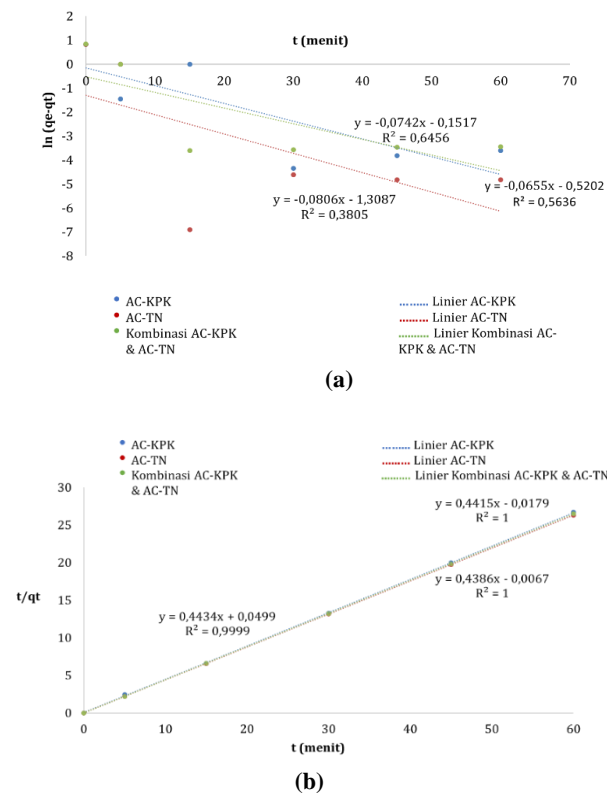
3.3 Kinetika Adsorpsi Ion Fosfat

Pemodelan kinetika adsorpsi digunakan untuk mengetahui tahapan yang mengontrol proses adsorpsi ion fosfat dan kecepatan adsorpsinya (Syafaat et al., 2013). Penentuan model kinetika reaksi pada adsorpsi ion fosfat oleh karbon aktif mengacu pada persamaan kinetika reaksi *pseudo first order* dan *pseudo second order*. Hasil adsorpsi ion fosfat disajikan pada Gambar 3, sedangkan parameter pada model kinetika adsorpsi *pseudo first order* dan *pseudo second order* untuk adsorpsi ion fosfat dengan karbon AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi kedua karbon aktif tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Parameter pada model kinetika adsorpsi ion fosfat dengan karbon AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi AC-KPK & AC-TN

Adsorben	<i>pseudo first order</i>		<i>pseudo second order</i>	
	k_1 (min^{-1})	R^2	k_2 ($\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$)	R^2
AC-KPK	-0,0742	0,6456	3,9400	0,9999
AC-TN	-0,0806	0,3805	-28,7119	1
Kombinasi AC-KPK & AC-TN	-0,0655	0,5636	-10,8895	1

Hasil analisis kinetika adsorpsi ion fosfat yang ditampilkan pada Gambar 3(a) dan 3(b), dapat dilihat hubungan yang linier didapatkan pada reaksi *pseudo second order*. Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3(a) menunjukkan linieritas yang kecil pada kinetika *pseudo first order* dengan R^2 untuk adsorben AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi AC-KPK & AC-TN berturut-turut adalah 0,6456; 0,3805 dan 0,5636.



Gambar 3. Kinetika adsorpsi ion fosfat untuk model *pseudo first order* (a) dan *pseudo second order* (b)

Nilai R^2 pada model kinetika *pseudo second order* lebih besar yaitu 1 (AC-TN dan kombinasi AC-KPK & AC-TN) dan mendekati 1 (AC-KPK) yang ditunjukkan pada Gambar 3(b), hal ini menunjukkan bahwa model kinetika *pseudo second order* dapat menggambarkan proses adsorpsi ion fosfat oleh karbon aktif. Berdasarkan model ini, adsorpsi ion fosfat oleh AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi AC-KPK

& AC-TN berdasarkan asumsi oleh *chemisorption* atau adsorpsi kimia (Aguiar et al., 2022), dimana ion fosfat membentuk ikatan kimia dengan permukaan adsorben. Oleh karena itu system bergantung pada kapasitas adsorpsi karbon aktif terkait jumlah situs aktif yang tersedia.

Berdasarkan perbandingan konstanta kecepatan k_1 dan k_2 (Tabel 2) menunjukkan bahwa nilai konstanta kecepatan pada model kinetika *pseudo second order* lebih besar dibandingkan dengan *pseudo first order*. Nilai konstanta kecepatan pada model kinetika *pseudo second order* untuk adsorben AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi AC-KPK & AC-TN berturut-turut adalah 3,9400 $\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$; -28,7119 $\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$; dan -10,8895 $\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$. Penelitian sebelumnya juga menghasilkan bahwa model kinetika adsorpsi *pseudo second order* lebih sesuai untuk adsorpsi ion fosfat pada beberapa adsorben, seperti adsorpsi ion fosfat oleh ZMS (Syafaat et al., 2013); adsorpsi ion fosfat oleh karbon aktif batu kurma (El-Chaghaby & Abd El-Shafea, 2021); dan adsorpsi ion fosfat oleh karbon aktif kulit edamame (Eri et al., 2022).

4. Kesimpulan

Ukuran pori karbon aktif kulit pisang kepok dan karbon aktif tempurung nipah termasuk kategori makropori. Kandungan unsur utama dalam karbon aktif kulit pisang kepok dan karbon aktif tempurung nipah adalah Karbon, Oksigen dan Kalium. Waktu kontak optimum adsorpsi ion fosfat dalam limbah cair laundry dengan media adsorben AC-KPK adalah 15 menit, dengan adsorben AC-TN adalah 5 menit, dan kombinasi kedua adsorben tersebut adalah 5 menit. Efisiensi adsorpsi ion fosfat dengan adsorben AC-KPK adalah 98,83%, dengan adsorben AC-TN adalah 99,52%, dan kombinasi keduanya adalah 99,91%. Kinetika adsorpsi ion fosfat dengan ketiga media adsorben mengikuti model *pseudo second order* dengan nilai kecepatan adsorpsinya untuk adsorben AC-KPK, AC-TN, dan kombinasi AC-KPK & AC-TN berturut-turut adalah 3,9400 $\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$; -28,7119 $\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$; dan -10,8895 $\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$.

Daftar Pustaka

- Aguiar, A. B. S., Costa, J. M., Santos, G. E., Sancinetti, G. P., & Rodriguez, R. P. (2022). Removal of Metals by Biomass Derived Adsorbent in Its Granular and Powdered Forms: Adsorption Capacity and Kinetics Analysis. *Sustainable Chemistry*, 3(4), 535–550. <https://doi.org/10.3390/suschem3040033>
- Ali, A., Saeed, K., & Mabood, F. (2016). Removal of chromium (VI) from aqueous medium using chemically modified banana peels as efficient low-cost adsorbent. *Alexandria Engineering Journal*, June. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.05.011>
- Bajpai, D., & Tyagi, V. K. (2016). *Laundry Detergents : An Overview Laundry Detergents : An Overview*. February 2007. <https://doi.org/10.5650/jos.56.327>
- Dalming, T., Aliyah, A., Mufidah, M., D, V. M., & Asmawati, A. (2018). KANDUNGAN SERAT BUAH NIPAH (*Nypa fruticans* Wurmb) DAN

- POTENSINYA DALAM MENGIKAT KOLESTEROL SECARA IN VITRO. *Media Farmasi*, 14(1), 144. <https://doi.org/10.32382/mf.v14i1.149>
- El-Chaghaby, G. A., & Abd El-Shafea, Y. M. (2021). Kinetics and equilibrium of phosphate adsorption onto chemically activated carbon prepared from date stones. *Int. J. Dev. Sustain.*, 6(7), 427–438.
- Eri, I. R., Pramudinta, N. K., & Nurmayanti, D. (2022). Adsorption Kinetics of Edamame Soybean Peel Activated Carbon in Reducing the Level of Phosphate. *Journal of Ecological Engineering*, 23(2), 97–107. <https://doi.org/10.12911/22998993/144473>
- Fadlilah, I., Triwuri, N. A., & Pramita, A. (2022). Perbandingan Karbon Aktif-Tempurung Nipah dan Karbon Aktif-Kulit Pisang Kepok Teraktivasi Kalium Hidroksida. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 5(1), 20. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v5i1.10992.20-27>
- Fajarwati, F. I., Yuanita, E., Yeni, & Caesariyati, R. P. (2020). Adsorption of Pb(II) from aqueous solution using magnetic carbon composite of banana peel. *AIP Conference Proceedings*, 2229, 0300141–0300148. <http://www.ier-institute.org/2160-0589/abe6/V6/055.pdf>
- Ferawati, Y. F., & Susanti, R. F. (2021). Peran N-Doping Terhadap Karakteristik Pori Karbon Aktif yang Dihasilkan dari Limbah Destilasi Akar Wangi. *Metalurgi*, 2(1), 59–68.
- Gawande, S. M., Belwalkar, N. S., & Mane, A. A. (2017). Adsorption and its Isotherm – Theory. *International Journal of Engineering Research*, 6(6), 312. <https://doi.org/10.5958/2319-6890.2017.00026.5>
- Kamal, M., Younas, R., Zaheer, M., & Shahid, M. (2019). Treatment of Municipal Waste Water Through Adsorption Using Different Waste Biomass As Activated Carbon. *Journal CleanWAS*, 3(1), 21–27. <https://doi.org/10.26480/jcleanwas.01.2019.21.27>
- Khairi, I., Bahri, S., Ukhty, N., Rozi, A., & Nasution, M. A. (2020). POTENSI PEMANFAATAN NIPAH (*Nypa fruticans*) SEBAGAI PANGAN FUNGSIONAL DAN FARMASETIKA. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 2(2), 60. <https://doi.org/10.35308/jlaot.v2i2.3146>
- Kostoglou, M., & Karapantsios, T. D. (2022). Why Is the Linearized Form of Pseudo-Second Order Adsorption Kinetic Model So Successful in Fitting Batch Adsorption Experimental Data? *Colloids and Interfaces*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/colloids6040055>
- Li, Y., Liu, J., Yuan, Q., Tang, H., Yu, F., & Lv, X. (2016). A green adsorbent derived from banana peel for highly effective removal of heavy metal ions from water. *RSC Advances*, 6(51), 45041–45048. <https://doi.org/10.1039/c6ra07460j>
- Mariana, M., Mistar, E. M., Aswita, D., Zulkipli, A. S., & Alfatah, T. (2023). Nipa palm shell as a sustainable precursor for synthesizing high-performance activated carbon: Characterization and application for Hg²⁺ adsorption. *Bioresource Technology Reports*, 21(January), 101329. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101329>
- Megiyo, M., Aldila, H., Afriani, F., Mahardika, R. G., & Enggiwanto, S. (2017). Sintesis Karbon Aktif Tempurung Ketapang (*Terminalia catappa*) Sebagai Adsorben Minyak Jelantah. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*, 2, 137. <https://doi.org/10.20961/prosidingsnfa.v2i0.16382>
- Mohammed, R. R., & Chong, M. F. (2014). Treatment and decolorization of biologically treated Palm Oil Mill Effluent (POME) using banana peel as novel biosorbent. *Journal of Environmental Management*, 132, 237–249. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.031>
- Nedi, S., & Pakpahan, R. (2017). *Detergent Disposal into Our Environment and Its Impact on Marine Microbes*. *Detergent Disposal into Our Environment and Its Impact on*.
- Rahimah, Z., Heldawati, H., & Syauqiyah, I. (2016). Rohimah 107892-ID-pengolahan-limbah-deterjendengan-metode. *Konversi*, 5(2), 13–19.
- Ratnawati, R., Amalia, S., & Sasmita, A. (2019). *Karbon Aktif dari Sampah Plastik Polietilena sebagai Adsorben untuk Pengolahan Air Limbah Laundry*. 978, 21–22.
- Singh, S., Kumar, A., & Gupta, H. (2020). Activated banana peel carbon: a potential adsorbent for Rhodamine B decontamination from aqueous system. *Applied Water Science*, 10(8), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01274-4>
- Syafaat, F., Suseno, A., & Arnelli, A. (2013). Kinetika Adsorpsi Anion Nitrat dan Fosfat pada Zeolit Alam Termodifikasi Surfaktan Hexadesiltrimetilammonium Klorida. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 16(3), 73–78. <https://doi.org/10.14710/jksa.16.3.73-78>
- Tamunaidu, P., & Saka, S. (2011). Chemical characterization of various parts of nipa palm (*Nypa fruticans*). *Industrial Crops and Products*, 34(3), 1423–1428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.020>
- Tsaniatri, D. A., & Hargono, H. (2021). Adsorption of Pb(II) from aqueous solution by acid-modified water hyacinth cellulose. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012010>