



## Kinerja Karbon Aktif Daun Eceng Gondok pada Penurunan Kadar Fosfat Artifisial dan Surfaktan dalam Limbah Detergen

*(Performance of Activated Carbon from Water Hyacinth Leaves (WHL) for Reducing Artificial Phosphate and Surfactant Levels in Detergent Waste)*

Resa Wulandari, Cucun Alep Riyanto\*, Yohanes Martono

Program Studi Kimia, FSM, Universitas Kristen Satya Wacana  
Jalan Diponegoro 50-62, Salatiga, 50711, Indonesia

\*Corresponding author: [cucun.riyanto@uksw.edu](mailto:cucun.riyanto@uksw.edu)

DOI: 10.20961/alchemy.19.2.65626.149-161

Received 22 September 2022, Revised 27 March 2023, Accepted 3 April 2023, Published 30 September 2023

### Kata kunci:

adsorpsi;  
daun eceng  
gondok;  
karbon aktif;  
limbah detergen;  
surfaktan.

**ABSTRAK.** Limbah detergen masuk ke dalam kategori limbah domestik karena limbah ini memiliki potensi membentuk *film* pada permukaan air dan menurunkan tingkat transfer oksigen ke dalam air. Oleh karena itu, penanganan limbah detergen diperlukan untuk meningkatkan kualitas air. Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif dari Daun Eceng Gondok (DEG) sebagai adsorben fosfat dalam limbah fosfat artifisial dan surfaktan dalam limbah detergen. Tingginya kandungan selulosa dalam daun eceng gondok membuat tanaman tersebut memiliki potensi untuk diolah menjadi bahan dasar alternatif untuk karbon aktif. Sintesis karbon aktif DEG dilakukan melalui proses karbonisasi pada suhu 400 °C selama 60 menit dilanjutkan proses aktivasi dengan rasio karbon: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 30% yaitu 1:4 (b/b). Selanjutnya, pemanasan dilakukan menggunakan *furnace* pada suhu 600 °C selama 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif DEG memiliki gugus fungsional O–H, C–H, C=C, C≡C, dan C–O serta karakter mikropori ( $d = 1,10$  nm) dan luas permukaan sebesar 726,49 m<sup>2</sup>/g. Pada kajian kinetika dan isoterm adsorpsi, penyerapan karbon aktif DEG terhadap fosfat dan surfaktan mengikuti pemodelan kinetika Elovich dengan kapasitas adsorpsi masing-masing adalah 11,67 mg/g dan 4,19 mg/g. Efektivitas karbon aktif DEG dalam adsorpsi fosfat dan surfaktan berturut-turut mencapai 78,35% dan 52,99%.

### Keywords:

adsorption;  
hyacinth leaves;  
activated carbon;  
detergent waste;  
surfactant.

**ABSTRACT.** Detergent waste is classified into the domestic waste category because it forms a film on the water surface and reduce the oxygen level in the water. Therefore, handling detergent waste is necessary to improve water quality. In this research, activated carbon was synthesized from water hyacinth leaves (WHL) as an adsorbent for phosphate in artificial phosphate waste and surfactant in detergent waste. The high cellulose content in water hyacinth leaves gives this plant the potential to be processed into an alternative base material for activated carbon. The synthesis of activated carbon from WHL (ACWHL) was carried out through a carbonization process at 400 °C for 60 min followed by an activation process using a weight ratio of carbon: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 30% = 1:4 (w/w) followed by heating at 600 °C for 60 min. The research results show that ACWHL has the functional groups O–H, C–H, C=C, C≡C, and C–O as well as microporous character ( $d = 1.10$  nm) and a surface area of 726.49 m<sup>2</sup>/g. In the study of kinetics and adsorption isotherms, the adsorption of ACWHL on phosphate and surfactants followed Elovich kinetic modeling with adsorption capacities of 11.67 mg/g and 4.19 mg/g, respectively. The effectiveness of ACWHL in adsorption of phosphate and surfactant reached 78.35% and 52.99%, respectively.

## PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu elemen yang penting dalam hidup kita. Air tersedia di berbagai tempat, seperti contohnya air di sungai, tidak hanya untuk cadangan ketersediaan semata, namun juga tempat hidup bagi makhluk hidup di dalamnya serta sering dimanfaatkan oleh warga sekitar yang tinggal di bantaran sungai untuk kebutuhan sehari-hari. Seiring berkembangnya zaman, semakin banyak industri didirikan dan kebanyakan berdekatan dengan sungai. Berita yang tersebar menyatakan bahwa tidak sedikit sungai yang telah tercemar oleh limbah cair industri karena pihak industri kurang bertanggung jawab menyelesaikan pengolahan limbah yang diproduksinya (Utomo et al., 2010).

**Cite this as:** Wulandari, R., Riyanto, C. A., and Martono, Y., 2023. Kinerja Karbon Aktif Daun Eceng Gondok pada Penurunan Kadar Fosfat Artifisial dan Surfaktan dalam Limbah Detergen. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(2), 149-161. <http://dx.doi.org/10.20961/alchemy.19.2.65626.149-161>.

Sumber utama pencemaran air adalah limbah domestik (40%), limbah industri (30%), dan limbah pertanian. Salah satu pencemaran air yang banyak terjadi salah satunya adalah pencemaran oleh limbah cair yang berasal dari pencuci pakaian (detergen) yang kebanyakan dihasilkan dari limbah rumah tangga dan industri pencuci pakaian (*laundry*) yang masuk dalam limbah domestik (Waluyo, 2017). Limbah detergen mengandung beberapa potensi bahaya, seperti terbentuknya *film* dalam air yang menyebabkan turunnya tingkat transfer oksigen ke dalam air (Yuliani *et al.*, 2015) serta gangguan kesehatan manusia. Pencemaran air minum oleh limbah detergen dapat menimbulkan bau dan rasa yang tidak sedap serta bersifat racun jika tertelan (Lusiana, 2011). Selain itu, detergen juga mengandung fosfat yang akumulasinya dapat menyebabkan peningkatan unsur hara dan terjadinya eutrofikasi (Apriyani, 2017).

Kualitas air yang tercemar dapat diperbaiki melalui proses remediasi air, salah satunya menggunakan teknik adsorpsi yang dinyatakan menjadi salah satu cara paling efektif dan merupakan pendekatan yang mudah karena dapat dioperasikan secara sederhana, serta memiliki efektivitas energi ditinjau dari energi adsorpsi di permukaan (Alvarez, 2012; Wang *et al.*, 2016). Salah satu proses adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan karbon aktif. Karbon aktif dipilih menjadi adsorben karena memiliki luas permukaan (300 – 350 m<sup>2</sup>/g) dan juga daya penjerapan yang besar (25 – 100%) terhadap senyawa organik ataupun anorganik (Esterlita and Herlina, 2015).

Karbon aktif yang beredar sekarang memiliki harga yang cukup mahal karena berasal dari batu bara (Aman *et al.*, 2018). Oleh karena itu, saat ini banyak dibuat karbon aktif dari bahan-bahan alam atau bahan-bahan sisa alam, salah satunya adalah daun eceng gondok. Tingginya kandungan selulosa dalam eceng gondok membuat tanaman tersebut memiliki potensi untuk dapat diolah menjadi bahan dasar alternatif untuk karbon aktif (Yunus *et al.*, 2021). Di sisi lain, eceng gondok merupakan tumbuhan invasif yang pertumbuhannya sangat melimpah dan dapat mempersempit sungai sehingga diperlukan adanya pemanfaatan eceng gondok, salah satunya sebagai bahan karbon aktif untuk adsorben zat pencemar dalam limbah detergen. Jika dilihat dari penelitian-penelitian sintesis karbon aktif dari biomassa yang ada, luas permukaan karbon aktif hanya mencapai 22,499 m<sup>2</sup>/g untuk karbon aktif dari sekam padi termodifikasi surfaktan (Pargiman *et al.*, 2018); 41,101 m<sup>2</sup>/g untuk karbon aktif dari sabut pinang (Fitriansyah *et al.*, 2021); 3,918 m<sup>2</sup>/g untuk karbon aktif dari kulit kacang tanah (Setyawan *et al.*, 2018); 66,51 m<sup>2</sup>/g untuk karbon aktif dari sekam padi (Riyanto *et al.*, 2022); dan 176,5 m<sup>2</sup>/g untuk karbon aktif dari batang pisang (Aisyah *et al.*, 2019). Pada penelitian karbon aktif dari eceng gondok (baik batang maupun daun) didapatkan luas permukaan yang lebih tinggi, yaitu 423,6 m<sup>2</sup>/g (Huang *et al.*, 2014) dan 235 m<sup>2</sup>/g untuk karbon aktif dari batang eceng gondok (González-García *et al.*, 2020), sehingga karbon aktif daun eceng gondok dianggap cocok untuk adsorpsi surfaktan maupun fosfat yang memiliki ukuran molekul yang besar.

Nibret *et al.* (2019) menyebutkan bahwa karbon aktif dari eceng gondok dengan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 30% untuk penyerapan metilen biru, memiliki kadar abu sebesar 12,5% dan luas permukaan 163,29 m<sup>2</sup>/g serta dapat menyerap metilen biru pada pH 10 yang memiliki konsentrasi 15 mg/L dan dosis adsorben sebesar 1,5 g/100 mL memiliki presentasi penyerapan sebesar 98,6%. Pemodelannya mengikuti pemodelan Freundlich isoterm dengan R<sup>2</sup> = 0,9907 dan pemodelan kinetik mengikuti pseudo orde 2 dengan R<sup>2</sup> = 0,9948. Selain itu, beberapa penelitian tentang adsorpsi limbah detergen telah dilakukan sebelumnya, di antaranya dengan menggunakan ampas teh didapatkan penurunan kadar surfaktan sebesar 0,958 mg/L dengan daya serap karbon aktif sebesar 5,133 mg/L untuk rasio pengenceran detergen 46 g : 2,5 liter air dengan waktu kontak 10 menit (Fernianti and Suryati, 2017). Penelitian lain dari Majid *et al.*, (2017) menggunakan karbon aktif komersial untuk mengadsorpsi fosfat dalam limbah detergen melalui dua kali pengulangan. Pada pengulangan pertama, penambahan 3 g karbon aktif dapat menurunkan kadar fosfat sebesar 1,70 mg/L (65,86%). Pada pengulangan kedua, penambahan 3 g karbon aktif dapat menurunkan kadar fosfat sebesar 1,89 mg/L (62,04%). Melihat peluang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakter permukaan dan pori dari karbon aktif DEG, menentukan efektivitas karbon aktif DEG dalam penjerapan fosfat dalam limbah artifisial dan surfaktan dalam limbah detergen, serta menentukan pemodelan isoterm dan kinetika adsorpsinya.

## METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun eceng gondok (DEG) yang didapatkan dari Rawa Pening, Kabupaten Semarang. Bahan kimia yang digunakan antara lain H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, *Sodium Deodecyl Sulfate* (SDS), CHCl<sub>3</sub>, isopropil alkohol (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>OH), natrium dihidrogen fosfat monohidrat (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O), kalium dihidrogen fosfat anhidrat (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), *methylene blue*, fenoltalein, amonium molibdat (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>, dan asam askorbat (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>). Semua bahan kimia yang digunakan berderajat pro-analisis diperoleh dari E-Merck Germany.

Peranti yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitis dengan ketelitian 0,01 g (Ohaus TAJ601), neraca analitis dengan ketelitian 0,1 mg (Ohaus PA214), *furnace* (Vulcan A-550), *grinder* (Philips), ayakan (CBN, 60 mesh), dan peralatan gelas laboratorium. Instrumen yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis (PG-Instrumen T60) dengan UV Win Software V.6.0.0, Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR, Shimadzu Prestige 21), dan *Surface Area Analyzers* (SAA, Quantachrome Instruments version 11.0).

### Preparasi Karbon Aktif Daun Eceng Gondok (DEG)

Preparasi karbon aktif daun eceng gondok mengacu pada penelitian [Riyanto and Prabalaras \(2019\)](#). Daun Eceng Gondok (DEG) dicuci dengan air bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama  $\pm 48$  jam. DEG dipotong menjadi kecil-kecil dan dikeringkan menggunakan *oven* selama 24 jam pada suhu 110 °C. Sampel dihaluskan dengan *grinder* dan diayak menggunakan ayakan 30 *mesh*. Sampel dikarbonisasi dengan cara sampel dke dalam *furnace* pada suhu 400 °C selama 60 menit. Karbon yang telah diperoleh diimpregnasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 30% dengan rasio 1:4 (b/b) selama 24 jam. Setelah itu, karbon disaring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C selama 24 jam lalu diaktivasi dalam *furnace* pada suhu 600 °C selama 1 jam. Selanjutnya, karbon aktif dicuci dengan NaOH 1 M dan dibilas dengan akuades hingga pH nya menjadi 7. Hasil aktivasi dipanaskan dalam *oven* pada suhu 110 °C selama 24 jam. Rendemen dari karbon aktif yang diperoleh dapat dihitung menggunakan [Persamaan \(1\)](#).

$$\text{Rendemen Karbon Aktif} = \frac{\text{Massa Akhir setelah Aktivasi (g)}}{\text{Massa Awal Karbonisasi (g)}} \times 100\% \quad (1)$$

### Penentuan Kadar Fosfat dalam Limbah Fosfat Artifisial dengan Metode Asam Askorbat

Metode penentuan kadar fosfat merujuk pada Badan Standardisasi Nasional (2005). Larutan induk fosfat dibuat dengan cara melarutkan 0,5 g kalium dihidrogen fosfat anhidrat (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) dengan akuades ke dalam labu ukur 1000 mL kemudian ditera hingga tanda tera dan dihomogenkan. Larutan 500 mg/L ini merupakan larutan baku. Larutan baku 500 mg/L kemudian diencerkan menjadi larutan standar dengan beberapa konsentrasi yaitu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 mg P/L. Larutan sampel limbah artifisial fosfat dibuat dengan konsentrasi 14 mg/L, konsentrasi ini mengacu pada penelitian [Utomo \*et al.\* \(2018\)](#) yang menyebutkan bahwa kandungan fosfat di dalam limbah detergen yang diuji memiliki kadar sebesar 14 mg/L.

Reagen larutan asam sulfat 5N, larutan amonium molibdat, dan larutan asam askorbat 1 M disiapkan mengikuti metode dari SNI 06-6989.31-2005. Selanjutnya, diambil masing-masing larutan sampel dan larutan standar sejumlah 25 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer, ditambah dengan 1 tetes indikator fenoltalein. Apabila terbentuk warna merah muda, larutan ditambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5N sampai warna hilang dan kemudian dihomogenkan. Larutan diinkubasi selama 30 – 60 menit kemudian dilakukan pembacaan pada spektrofotometer UV-Vis dengan  $\lambda = 807$  nm. Pengukuran kadar fosfat ini dilakukan secara duplo.

### Penentuan Kadar Surfaktan dalam Detergen dengan Metode MBAS (*Methylen Blue Active Substance*)

Penentuan kadar surfaktan mengacu pada penelitian [Utomo \*et al.\* \(2018\)](#). Larutan baku *Sodium Deodecyl Sulfate* (SDS) dibuat dengan konsentrasi larutan 100 mg/L. Larutan diencerkan menjadi beberapa konsentrasi untuk menjadi larutan standar yaitu 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,5; 2; 4; 6; dan 8 mg/L. Sampel limbah detergen dan larutan standar diambil masing-masing sejumlah 25 mL dan dimasukkan ke dalam corong pisah 100 mL, kemudian ditambahkan 6,25 mL larutan metilen biru dan 2,5 mL CHCl<sub>3</sub> dan dilakukan ekstraksi dengan cara dikocok selama 30 detik, dan dibuka tutup corong pisah untuk mengeluarkan gas. Apabila terbentuk emulsi, sedikit isopropil alkohol ditambahkan hingga emulsinya hilang. Fasa CHCl<sub>3</sub> dipisahkan dari fasa air, dan diekstrak kembali dengan 2,5 mL CHCl<sub>3</sub> sejumlah 2 kali. semua fasa CHCl<sub>3</sub> dari 3 kali ekstraksi digabungkan pada suatu corong pisah, kemudian ditambah dengan 12,5 mL larutan pencuci dan dikocok, larutan pencuci disiapkan mengikuti metode dari SNI 06-6989.51-2005. Setelah itu, fasa air dari hasil pencucian diekstrak kembali dengan 2,5 mL CHCl<sub>3</sub>. Semua fase CHCl<sub>3</sub> ditempatkan dalam 1 labu berukuran ukur 25 mL dan ditera dengan CHCl<sub>3</sub> hingga tanda tera lalu dilakukan pembacaan dengan spektrofotometer UV-Vis pada  $\lambda = 653$  nm. Penentuan kadar surfaktan dengan metode MBAS dilakukan pada sampel sebelum dan sesudah penambahan karbon aktif.

### Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif DEG Terhadap Limbah Detergen

Penentuan kinetika adsorpsi karbon aktif mengacu pada penelitian [Riyanto and Prabalaras \(2019\)](#). Proses adsorpsi dilakukan dengan penambahan 10 mg karbon aktif DEG ke dalam 50 mL larutan limbah detergen dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 menit menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang. Larutan sampel disaring dan diukur lagi konsentrasi surfaktan menggunakan metode MBAS dan konsentrasi fosfat menggunakan metode asam askorbat untuk melihat perubahan konsentrasinya. Pemodelan kinetika adsorpsi akan dicoba pada pemodelan Pseudo Orde 1, Pseudo Orde 2, Elovich, dan Weber-Morris. Persamaan kinetika yang digunakan ditunjukkan pada [Persamaan \(2\)](#), [Persamaan \(3\)](#), [Persamaan \(4\)](#), dan [Persamaan \(5\)](#) ([Sumanjit \*et al.\*, 2016](#); [Rao \*et al.\*, 2018](#)).

$$\text{Kinetika Pseudo Orde 1 (PFO): } \ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

$$\text{Kinetika Pseudo Orde 2 (PSO): } \frac{t}{q_t} - \frac{1}{k_s q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

Keterangan:

- $q_t$  = kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  (menit) (mg/g)
- $q_e$  = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)
- $k_1$  = konstanta laju dari pseudo orde 1 ( $\text{min}^{-1}$ )
- $k_s$  = konstanta laju dari Pseudo Orde 2 ( $\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )
- $t$  = waktu kontak (menit)

$$\text{Kinetika Elovich: } q_t = \frac{1}{\beta} \ln (\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (4)$$

Keterangan:

- $\beta$  = konstanta desorpsi
- $\alpha$  = konstanta laju dari kinetika Elovich kinetik ( $\text{mg}/\text{g}\cdot\text{min}$ )
- $q_t$  = kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$
- $t$  = waktu kontak (menit)

Konstanta desorpsi berhubungan dengan cakupan permukaan dan energi aktivasi yang menyebabkan situs aktif yang tersedia semakin berkurang seiring dengan adsorbat yang terjerap (menempel) ([Yaneva \*et al.\*, 2013](#); [Tan and Hameed, 2017](#)).

$$\text{Kinetika Weber-Morris: } q = k_{id} \sqrt{t} + B \quad (5)$$

Keterangan:

- $k_{id}$  = konstanta laju dari kinetika Weber-Morris ( $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{min}^{0.5})$ )
  - $B$  = kapasitas adsorpsi (mg/g)
- ([Tan and Hameed, 2017](#)).

### Isoterm Adsorpsi Karbon Aktif DEG Terhadap Limbah Detergen

Proses isoterm adsorpsi dilakukan mengacu pada [Utomo \*et al.\* \(2018\)](#) dengan variasi massa adsorben. Karbon aktif DEG dimasukkan ke dalam 50 mL sampel limbah detergen dengan variasi massa adsorben seberat 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 mg menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang. Larutan sampel disaring dan diukur lagi konsentrasi surfaktan menggunakan metode MBAS dan konsentrasi fosfat menggunakan metode asam askorbat untuk melihat hasil penurunan konsentrasi yang paling signifikan.

Pemodelan isoterm adsorpsi yang digunakan pada penelitian ini diantaranya isoterm Langmuir, Elovich, Redlich-Peterson, dan Jovanovich dengan ditunjukkan pada [Persamaan \(6\)](#), [Persamaan \(7\)](#), [Persamaan \(8\)](#), dan [Persamaan \(9\)](#) ([Ayawei \*et al.\*, 2017](#)).

$$\text{Isoterm Langmuir: } \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_L q_m} \quad (6)$$

Keterangan:

- $C_e$  = konsentrasi adsorbat saat kesetimbangan (mg/g)
- $q_e$  = jumlah adsorbat dalam adsorben saat kesetimbangan
- $K_L$  = konstanta Langmuir yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi (mg/g).

$q_m$  = kapasitas adsorpsi maksimum

Nilai  $q_m$  dan  $K_L$  dapat ditentukan melalui *slope* dan intersep (Sulastri *et al.*, 2014).

$$\text{Isoterm Elovich: } \ln \ln \frac{C_e}{q_e} = \ln \ln K_L q_m - \frac{q_e}{q_m} \quad (7)$$

$K_e$  = konstanta isoterm Elovich

$q_m$  = kapasitas adsorpsi maksimal

Nilai  $q_m$  ditentukan melalui intersep dan *slope* dari plot  $\ln (q_e/C_e)$  vs  $q_e$  (Farouq and Yousef, 2015).

$$\text{Isoterm Redlich-Peterson : } \ln \ln \frac{C_e}{q_e} = \beta \ln \ln C_e - \ln \ln A \quad (8)$$

Keterangan:

A = konstanta Redlich-Peterson ( $Lg^{-1}$ )

B = eksponen

$C_e$  = konsentrasi fase cair adsorben pada kesetimbangan ( $mg \cdot L^{-1}$ )

$q_e$  = kapasitas adsorbat setimbang pada adsorben ( $mg \cdot g^{-1}$ )

$$\text{Isoterm Harkin-Jura: } \frac{1}{q_e^2} = \frac{B}{A} - \log \log C_e \quad (9)$$

B dan A merupakan konstanta Harkin-Jura yang dapat ditentukan melalui plot  $1/q_e^2$  terhadap  $\log C_e$  dengan B ditentukan melalui intersep dan A ditentukan melalui *slope* (Din *et al.*, 2018).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Sintesis dan Analisis Gugus Fungsi Karbon Aktif DEG

Pada penelitian ini didapatkan rendemen karbon aktif DEG sebesar 47,4% (Tabel S1). Hasil rendemen tersebut lebih rendah bila dibandingkan dengan penelitian Sahara *et al.* (2017) dan Aisyah *et al.* (2019). Menurut penelitian Sahara *et al.* (2017), rendemen sebesar 54,93% diperoleh untuk karbon aktif dari limbah batang pisang dengan aktivator  $H_3PO_4$ . Menurut penelitian Aisyah *et al.* (2019), rendemen sebesar 87,38% didapatkan untuk karbon aktif dari batang tanaman gunitir dengan aktivator  $H_3PO_4$  25%. Karbon aktif pada penelitian ini memiliki hasil rendemen yang lebih tinggi dibandingkan penelitian Riyanto *et al.*, (2021) dengan hasil rendemen kisaran 10,00 – 31,25% untuk karbon aktif dari Batang Eceng Gondok (BEG) dengan aktivator  $H_3PO_4$  30%.

Dalam penelitian Riyanto *et al.* (2023), hasil analisis FTIR gugus fungsi karbon aktif standar/komersial dan karbon aktif DEG yang diimpregnasi  $H_3PO_3$  30% 1:4 (b/b) dengan suhu aktivasi 600 °C (Gambar S1a) menunjukkan puncak serapan pada bilangan gelombang 3510,45  $cm^{-1}$ ; 2931,80  $cm^{-1}$ ; 2291,43  $cm^{-1}$ ; 1635,64  $cm^{-1}$ ; dan 1126,43  $cm^{-1}$  yang secara berurutan merupakan vibrasi dari O–H (Demiral and Şamdan, 2016; Yakout and Sharaf El-Deen, 2016); ikatan C–H (Demiral and Şamdan, 2016; Yakout and Sharaf El-Deen, 2016); ikatan C=C (Tran *et al.*, 2017); ikatan C=C *stretching* (Huang *et al.*, 2014); dan peregangan gugus C–O (Beltrame *et al.*, 2017; Yakout and Sharaf El-Deen, 2016).

Spektra pada karbon aktif DEG (Gambar S1b) menunjukkan adanya perbedaan bilangan gelombang dan perbedaan intensitas serta munculnya gugus baru akibat perlakuan yang diberikan pada karbon aktif DEG. Serapan yang muncul pada bilangan gelombang 3425,58  $cm^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi peregangan O–H dari gugus fungsional hidroksil (Huang *et al.*, 2014). Karakter karbon aktif masih memungkinkan terdapat pada gugus C–H dan O–H meninjau fenomena serapan yang muncul pada spektra FTIR karbon aktif komersial (Gambar S1a). Selain itu, gugus O–H yang berada pada karbon aktif DEG kemungkinan juga diperoleh ketika netralisasi karbon aktif menggunakan NaOH. Meskipun setelah netralisasi telah diikuti dengan pembilasan menggunakan akuades, dan pengeringan pada suhu 110 °C selama 24 jam, gugus OH dari NaOH masih belum menguap habis, sehingga terdeteksi dalam analisis menggunakan FTIR. Hal ini didukung dengan melihat intensitas transmitansi gugus OH pada spektra FTIR sangat kecil (0,219). Di sisi lain, adanya gugus OH dapat berperan dalam adsorpsi fosfat. Bilangan gelombang 2954,95  $cm^{-1}$  menunjukkan pita serapan dari ikatan C–H pada gugus metil dan metilen (Huang *et al.*, 2014) dan bisa memungkinkan merupakan bilangan gelombang dari ikatan C–H *stretching* dari grup alifatik ataupun alkena (Morales *et al.*, 2021).



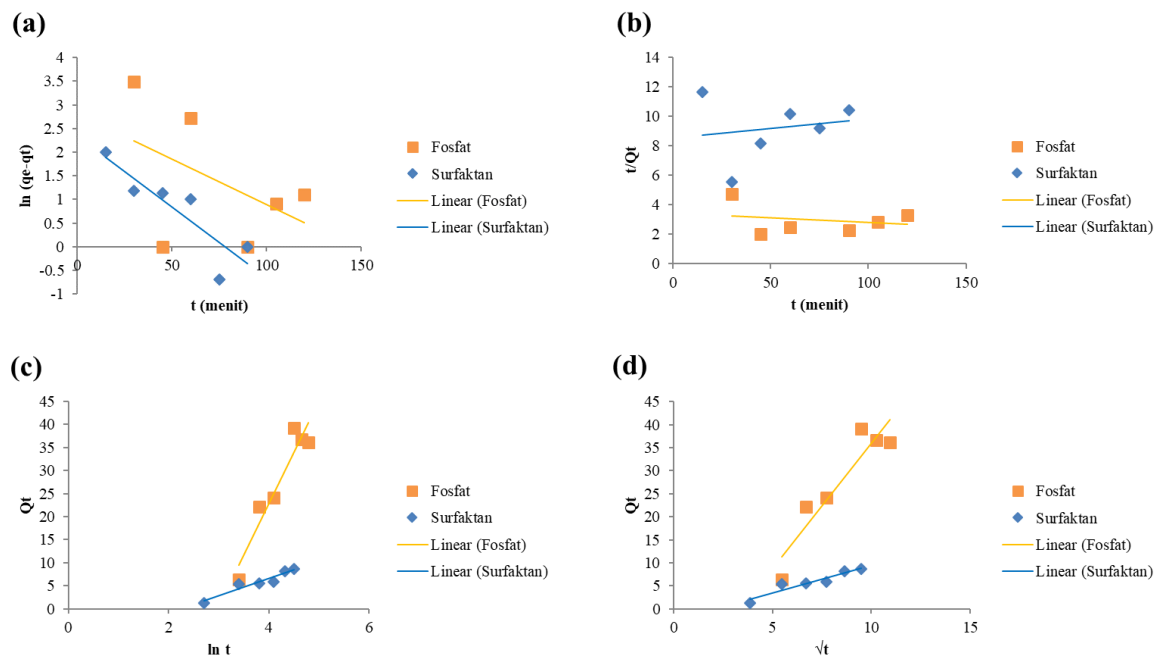
Munculnya pita serapan  $C\equiv C$  yang merupakan vibrasi dari grup alkuna dan metilen pada bilangan gelombang 2337,72  $cm^{-1}$  (Mahmood *et al.*, 2017). Pada bilangan gelombang 1581,63  $cm^{-1}$  mengindikasikan adanya pita serapan dari regangan  $C=C$  aromatik (Koyuncu *et al.*, 2018). Muncul puncak pada bilangan gelombang 1219,01  $cm^{-1}$  menunjukkan pita serapan dari getaran peregangan  $C-O$  dari asam karboksilat, alkohol, fenol, eter, atau ester. Namun, biasanya rentang bilangan gelombang ini juga dikaitkan dengan senyawa yang mengandung fosfor, seperti vibrasi regangan hidrogen yang terikat pada  $P=O$  dari gugus ester fosfat, atau bisa juga karbon yang terikat pada oksigen dari gugus  $P-O-C$ , dan fosfor yang terikat pada  $P=OOH$  (Beltrame *et al.*, 2017). Pada penelitian lain, dikatakan bahwa bilangan gelombang 1080,14  $cm^{-1}$  menunjukkan pita serapan dari ikatan terionisasi spesi  $P^+-O^-$  dalam asam fosfat dan getaran simetris dalam rantai  $P-O-P$  (Demiral and Şamdan, 2016; Huang *et al.*, 2014). Karbon aktif DEG yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki kesesuaian dengan karbon aktif standar, yaitu karbon aktif DEG memiliki gugus fungsi  $O-H$ ,  $C-H$ ,  $C=C$ ,  $C\equiv C$ , dan  $C-O$ . Karbon aktif DEG yang dihasilkan juga bersifat polar dengan adanya gugus  $O-H$  dan  $C-O$ , sehingga dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat yang bersifat polar (Wijaya *et al.*, 2018).

### Karakterisasi Karbon Aktif DEG dengan Metode Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Luas permukaan karbon aktif dapat dianalisis dengan menggunakan media gas (biasanya ditentukan dengan adsorpsi gas nitrogen) dengan penentuan berapa banyaknya gas yang terserap dalam karbon aktif. Metode ini dikenal dengan metode Brunauer-Emmett-Teller (BET) (Agustina and Fitriana, 2018). Selain itu, analisis BET dapat digunakan untuk mengukur volume pori dari hasil kurva isoterm dengan menggunakan perhitungan dengan BET yang berkaitan dengan adsorpsi dan desorpsi dari mesopori yang terbuka (Fitriansyah *et al.*, 2021).

Gambar S2 merupakan kurva isoterm yang diperoleh melalui metode adsorpsi-desorpsi gas nitrogen. Kurva yang didapatkan termasuk tipe I yang berarti material yang dihasilkan memiliki struktur mikropori ( $< 2$  nm). Hal ini juga ditegaskan pada hasil yang didapat dari hasil karakterisasi menggunakan metode BET dengan diameter pori yang dihasilkan oleh karbon aktif DEG sebesar 10,9923 Å ( $\sim 1,10$  nm). Diameter pori tersebut dapat disimpulkan bahwa karbon aktif DEG ini masuk ke dalam karbon aktif mikropori, yaitu karbon aktif yang memiliki diameter pori  $< 2$  nm (Fauzi *et al.*, 2018). Selain itu, luas permukaan yang dihasilkan dari karakterisasi porositas karbon aktif DEG yang diimpregnasi dengan  $H_3PO_4$  30% dengan rasio 1:4 (b/b) dan diaktivasi dengan suhu 600 °C selama 60 menit memiliki luas permukaan sebesar 726,489  $m^2/g$ .

### Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif DEG Terhadap Limbah Detergen



**Gambar 1.** Pemodelan kinetika adsorpsi fosfat dan surfaktan anionik pada karbon aktif DEG : a) Pseudo Orde 1; b) Pseudo Orde 2; c) Elovich; dan d) Weber-Morris.

Studi kinetika adsorpsi memberikan informasi tentang laju adsorpsi, kinerja adsorben yang digunakan, dan mekanisme perpindahan massa (Wang and Guo, 2020a). Pemodelan kinetika adsorpsi adalah sebuah kurva yang menggambarkan laju retensi pelepasan zat terlarut dari sebuah larutan ke permukaan fase padat (dari suatu adsorben) pada dosis, suhu, dan pH tertentu (Kajjumba *et al.*, 2019).

Gambar 1 menyajikan plot pemodelan kinetika adsorpsi dari fosfat dari limbah artifisial dan surfaktan anionik dalam limbah detergen pada karbon aktif DEG. Pemodelan kinetika adsorpsi karbon aktif DEG pada fosfat dan surfaktan anionik memiliki nilai  $R^2$  tertinggi dengan nilai 0,9117 dan 0,9225 yang dimiliki oleh pemodelan Elovich. Pada pemodelan kinetika adsorpsi, terdapat parameter-parameter lain yang dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Parameter-parameter pada tiap pemodelan kinetika adsorpsi karbon aktif DEG.

Model	Parameter	Senyawa	
		Fosfat	Surfaktan Anionik
Pseudo Orde 1	Persamaan	$y = -0,0192x + 2,8091$	$y = -0,03x + 2,3464$
	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	-0,0192	-0,03
	$R^2$	0,2242	0,7684
Pseudo Orde 2	Persamaan	$y = -0,0065x + 3,4382$	$y = 0,0129x + 8,5108$
	$K_2$ ( $\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$1,2288 \times 10^{-5}$	$1,9553 \times 10^{-5}$
	$q_e$	-153,8461	77,5193
	$R^2$	0,056	0,0288
Elovich	Persamaan	$y = 22,241x - 66,125$	$y = 3,7937x - 8,6159$
	$\beta$	0,045	0,2636
	$\alpha$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$0,4256 \times 10^{-27}$	0,3915
	$R^2$	0,9117	0,9225
Weber-Morris	Persamaan	$y = 5,4461x - 18,497$	$y = 1,1938x - 2,5296$
	$K_{id}$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-0.5}$ )	5,4461	1,1938
	B	-18,497	-2,5296
	$R^2$	0,8681	0,9021

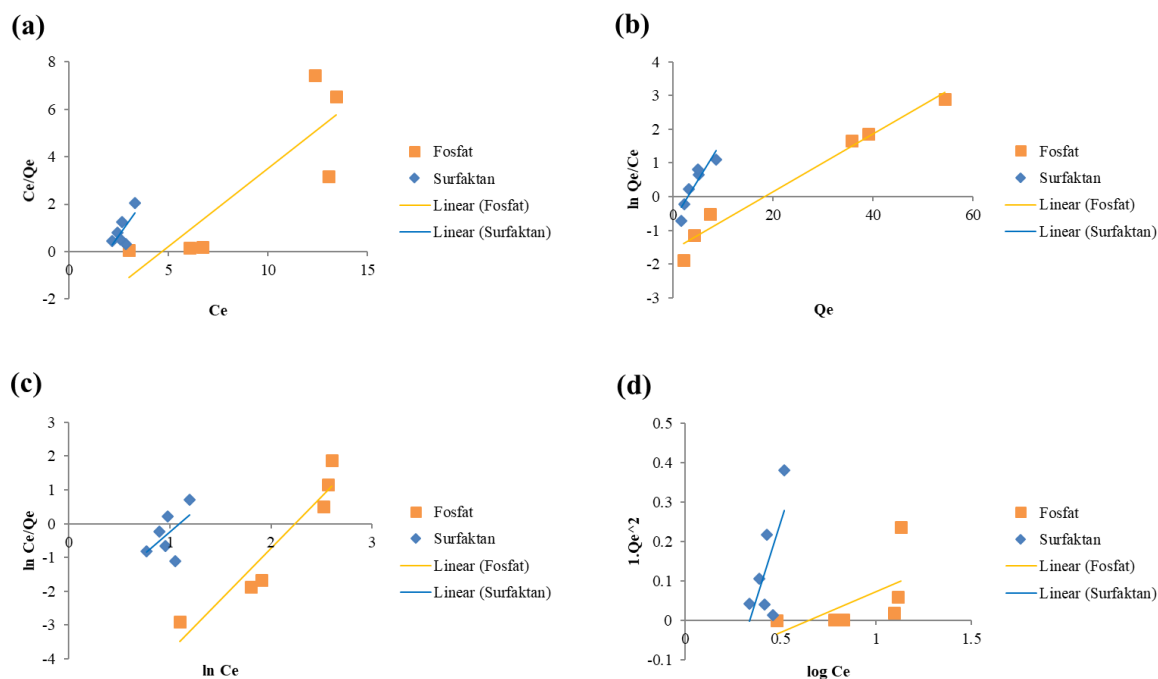
Pada pemodelan Elovich, terdapat parameter lain yaitu  $\alpha$  dan  $\beta$ . Nilai  $\alpha$  merupakan konstanta laju dari kinetika Elovich. Tabel 2 menunjukkan nilai  $\alpha$  sebesar  $0,4256 \times 10^{-27} \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  untuk fosfat dan  $0,3915 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  untuk surfaktan. Hal ini menunjukkan laju adsorpsi karbon aktif DEG lebih cepat dalam adsorpsi surfaktan anionik. Selain  $\alpha$ , parameter  $\beta$  merupakan konstanta desorpsi yang masing-masing memiliki nilai  $\beta = 0,0045$  untuk fosfat dan  $\beta = 0,2636$  untuk surfaktan anionik. Hasil ini menunjukkan bahwa karbon aktif DEG lebih cepat dalam menyerap surfaktan anionik yang menyebabkan situs aktif yang tersedia terisi penuh dahulu dan kemudian berkurang jumlahnya, hingga pada waktu tertentu akan terjadi desorpsi (Ayawei *et al.*, 2017).

Pemodelan Elovich mengasumsikan bahwa permukaan adsorben memiliki permukaan yang heterogen dan desorpsi maupun interaksi antara spesies yang teradsorpsi tidak akan mempengaruhi kinetika adsorpsi pada cakupan permukaan yang rendah (Ferreira *et al.*, 2019). Pemodelan ini juga mengasumsikan bahwa laju adsorpsi zat terlarut akan menurun secara eksponensial dengan meningkatnya jumlah zat terlarut yang teradsorpsi (Kajjumba *et al.*, 2019). Selain itu, persamaan isoterm Elovich (Persamaan 3) merupakan bentuk yang paling sering digunakan dan telah berhasil digunakan untuk pemodelan pada adsorpsi logam dan polutan organik (Wang and Guo, 2020a).

### Isoterm Adsorpsi Karbon Aktif DEG Terhadap Limbah Detergen

Isoterm adsorpsi menggambarkan kinerja adsorben saat kesetimbangan dan suhu konstan yang mengacu pada hubungan antara konsentrasi adsorbat dalam fase cair dan jumlah adsorpsi pada fase padat. Pemodelan isoterm adsorpsi berfungsi untuk memprediksi fenomena selama proses adsorpsi berdasarkan konsentrasi adsorbat dan jumlah larutan yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan. Bentuk analitik dari persamaan isoterm adsorpsi bergantung pada jenis fase permukaan yang biasa disebut dengan *monolayer* dan *multilayer* (Al-Ghouti and Da'ana, 2020; Maryanti *et al.*, 2020; Saadi *et al.*, 2015; Wang and Guo, 2020b).

Gambar 4 memperlihatkan plot isoterm adsorpsi fosfat pada limbah artifisial dan surfaktan anionik dalam limbah detergen pada karbon aktif DEG cenderung mengikuti pemodelan Elovich dengan nilai  $R^2$  masing-masing 0,9733 untuk fosfat dan 0,8221 untuk surfaktan anionik. Hal ini didukung dengan parameter-parameter dalam pemodelan Elovich yang ditunjukkan pada Tabel 3, bahwa semua parameter pemodelan Elovich bernilai positif.



**Gambar 4.** Pemodelan isoterm adsorpsi fosfat dan surfaktan anionik pada karbon aktif DEG : a) Langmuir; b) Elovich; c) Redlich-Peterson; dan d) Harkin-Jura.

Pemodelan Elovich didasarkan pada prinsip kinetika yang menggambarkan bahwa situs adsorpsi pada karbon aktif meningkat secara eksponensial bersamaan dengan adsorpsi dan ini menunjukkan adsorpsi secara *multilayer* (Ayawei *et al.*, 2017). Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Hidayah and Damayanti (2021) bahwa adsorpsi surfaktan anionik dan fosfat menggunakan karbon aktif komersial, proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisika (adsorpsi secara *multilayer*).

**Tabel 3.** Parameter-parameter pada tiap pemodelan isoterm adsorpsi karbon aktif DEG.

Pemodelan Isoterm	Parameter	Senyawa	
		Fosfat	Surfaktan Anionik
Langmuir	Persamaan	$y = 0,6557x - 3,0548$	$y = 1,1794x - 2,2624$
	R <sup>2</sup>	0,7383	0,5011
	q <sub>m</sub>	0,5251	0,8478
	K <sub>L</sub>	-0,2146	-0,5213
Elovich	Persamaan	$y = 0,0857x - 1,5562$	$y = 0,241x - 0,7082$
	R <sup>2</sup>	0,9733	0,8221
	K <sub>E</sub>	1,1427	1,1839
	q <sub>max</sub>	11,6686	4,194
Redlich-Peterson	Persamaan	$y = 3,0625x - 6,8561$	$y = 2,6031x - 2,8534$
	R <sup>2</sup>	0,9029	0,3006
	β	3,0625	2,6031
	A	949,6561	17,3466
Harkin-Jura	Persamaan	$y = 0,2055x - 0,134$	$y = 1,522x - 0,5123$
	R <sup>2</sup>	0,3288	0,4507
	A	0,2055	1,522
	B	-0,0274	-0,7797

Pada pemodelan Elovich, terdapat parameter berupa q<sub>max</sub> yang merupakan kapasitas adsorpsi maksimum yang memiliki nilai masing-masing 11,6686 mg/g untuk fosfat dan 4,194 mg/g untuk surfaktan anionik. K<sub>E</sub> merupakan konstanta isoterm Elovich yang masing-masing memiliki nilai 0,8751 L/mg untuk fosfat dan 0,8446 L/mg untuk surfaktan. Perbedaan kapasitas adsorpsi ini disebabkan karena perbedaan diameter tumbukan (*collision diameter*) yakni jarak antara pusat dua molekul yang bertabrakan ketika berada pada titik terdekatnya



yang dipengaruhi oleh jari-jari molekul fosfat dan surfaktan berturut-turut sebesar 7,40 Å dan 11,20 Å sehingga kapasitas adsorpsi fosfat lebih tinggi daripada kapasitas adsorpsi surfaktan. Selain itu,  $K_E$  dapat digunakan untuk menentukan energi bebas Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ) dari adsorpsi yang terjadi. Nilai energi bebas Gibbs dari adsorpsi fosfat dan surfaktan masing-masing sebesar -332,726 kJ/mol, dan -421,170 kJ/mol yang mengindikasikan bahwa proses reaksi berlangsung secara spontan (Ebelegi *et al.*, 2020).

### Efektivitas Penurunan Kadar Surfaktan dan Fosfat

Limbah detergen yang diambil dari salah satu industri *laundry* di daerah Salatiga memiliki kadar fosfat di bawah 1 mg/L dan surfaktan sebesar 4,606 mg/L, sehingga untuk menentukan kinerja karbon aktif DEG terhadap penjerapan fosfat, maka dibuat fosfat dari limbah artifisial yang dibuat memiliki kadar 13,899 mg/L. Proses *treatment* dilakukan menggunakan karbon aktif DEG dan diperoleh hasil paling optimal untuk adsorpsi fosfat oleh karbon aktif DEG pada waktu kontak 90 menit dengan massa karbon aktif DEG seberat 25 mg. Perlakuan tersebut mampu menurunkan fosfat hingga mencapai konsentrasi 3,001 mg/L. Angka ini menunjukkan bahwa kadar fosfat masih di atas baku mutu dari Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012, yaitu 2 mg/L. Performa karbon aktif DEG sudah sangat baik karena mampu menurunkan kadar fosfat hingga 78,35% dari konsentrasi awal. Penjerapan fosfat ini diperkirakan karena larutan fosfat yang digunakan memiliki pH pada rentang 4 – 6 (5,9) sehingga ion yang dominan pada larutan limbah artifisial adalah  $H_2PO_4^-$  (Sailah *et al.*, 2020). Hal ini didukung penelitian Seghairi and Abdelmajid (2021) bahwa karbon aktif dari *date kernels* yang diaktivasi dengan  $H_3PO_4$  dapat mengadsorpsi fosfat dengan baik pada pH asam. Karbon aktif DEG baik dalam mengadsorpsi fosfat pada pH asam, karena ion  $H^+$  dari fosfat akan terikat pada gugus -OH yang ada pada permukaan karbon aktif DEG, dan terprotonisasi menjadi  $-OH^{2+}$  sehingga permukaan adsorben menjadi bermuatan positif dan akan mengalami ikatan elektrostatik dengan senyawa fosfat yang bermuatan negatif (Sailah *et al.*, 2020).

Pada sampel surfaktan anionik, waktu kontak optimum juga berada pada waktu 90 menit dengan massa adsorben karbon aktif DEG seberat 25 mg. Perlakuan tersebut mampu menurunkan kadar surfaktan anionik hingga mencapai konsentrasi akhir 2,165 mg/L (52,99%), yang menunjukkan bahwa angka tersebut berada di bawah baku mutu dari Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 untuk kadar maksimum surfaktan/MBAS dalam sabun dan detergen, yaitu 3 mg/L. Kemampuan adsorpsi surfaktan oleh karbon aktif DEG ini diperkirakan karena adanya gugus hidrofobik yang terdapat pada permukaan karbon aktif DEG seperti hidrokarbon aromatik dan hidrokarbon alifatik yang dapat dilihat pada hasil FTIR (Wang *et al.*, 2019). Rantai hidrofobik surfaktan akan berinteraksi dengan permukaan non polar karbon aktif melalui gaya Van der Waals (Kuang *et al.*, 2020). Pargiman *et al.*, (2018), juga menjelaskan bahwa kemampuan adsorpsi karbon aktif yang diaktivasi oleh asam fosfat terhadap surfaktan diakibatkan karena karbon aktif tersebut memiliki gugus P=O yang dapat menyerap misel surfaktan sehingga permukaan karbon aktif akan membentuk *bilayer*.

Selain itu, penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih baik dalam adsorpsi fosfat dan surfaktan anionik dibandingkan dengan hasil penelitian lain, seperti adsorpsi fosfat dalam limbah *laundry* menggunakan karbon aktif komersial sebesar 65,86% (Majid *et al.*, 2017); adsorpsi fosfat dalam limbah *laundry* menggunakan karbon aktif dari kulit singkong sebesar 15,21% (teraktivasi asam) dan 16,93% (teraktivasi basa) (Sailah *et al.*, 2020); adsorpsi fosfat dalam limbah detergen menggunakan karbon aktif dari sampah plastik sebesar 45,45% (Wardhana *et al.*, 2013); dan adsorpsi surfaktan dalam limbah detergen menggunakan karbon aktif dari ampas teh yang hanya memiliki efektivitas adsorpsi sebesar 47% (Fernianti and Suryati, 2017).

### KESIMPULAN

Karbon aktif DEG memiliki gugus aktif O-H, C-H, C=C, C≡C, dan C-O dengan karakter mikropori (diameter pori <2 nm, yaitu 1,09923 nm) dan luas permukaan sebesar 726,489 m<sup>2</sup>/g. Karbon aktif DEG memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar fosfat pada limbah artifisial sebesar 78,35% dan surfaktan anionik pada limbah detergen sebesar 52,99% pada waktu optimum 90 menit dan massa adsorben seberat 25 mg. Pemodelan kinetika adsorpsi karbon aktif DEG terhadap fosfat dan surfaktan anionik mengikuti pemodelan Elovich kinetik sehingga pemodelan ini cocok untuk kinetika yang jauh dari kesetimbangan, dengan nilai koefisien korelasi R<sup>2</sup> masing-masing 0,9117 (fosfat) dan 0,9225 (surfaktan anionik). Pemodelan isoterm karbon aktif DEG terhadap surfaktan dan fosfat mengikuti pemodelan isoterm Elovich dengan R<sup>2</sup> masing-masing 0,9733 (fosfat) dan 0,8221 (surfaktan) dengan kapasitas adsorpsi maksimal 11,6686 mg/g (fosfat) dan 4,194 mg/g (surfaktan).

## INFORMASI PENDUKUNG

Informasi tambahan (*Supplementary Information*, SI) artikel ini dapat dilihat pada tautan <https://jurnal.uns.ac.id/alchemy/editor/downloadFile/65626/225856>.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini.

## KONTRIBUSI PENULIS

RW: Konseptualisasi, Metodologi, Software, Analisis Data, Penulisan Draf Manuskrip; CAR: Konseptualisasi, Supervisi, Telaah dan Penyuntingan Data/Manuskrip; YM: Konseptualisasi, Telaah dan Penyuntingan Manuskrip.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana atas dukungan dana untuk analisis/karakterisasi material karbon aktif DEG dan pembelian beberapa bahan kimia (*reagent*) melalui Skema Penelitian Wajib Dana Internal UKSW Tahun Anggaran 2022 (SKR No. 037/Pen./Rek./1/V/2022).

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., and Fitriana, A., 2018. Proses Peningkatan Luas Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung. *Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi*, 440–446.
- Aisyah, S., Alimuddin, and Sitorus, S., 2019. Pengaruh Variasi Waktu Pada Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Dari Limbah Batang Pisang (*Musa Paradisiaca L.*) Terhadap Benzena. *Atomik*, 4, 90–95.
- Al-Ghouti, M.A., and Da'ana, D.A., 2020. Guidelines for the Use and Interpretation of Adsorption Isotherm Models: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 393, 122383. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122383>.
- Alvarez, P.J.J., 2012. Nanotechnology for a Safe and Sustainable Water Supply: Enabling Integrated Water Treatment and Reuse XXX. *Accounts of Chemical Research*, 46, 3, 834–843 <https://doi.org/10.1021/ar300029v>.
- Aman, F., Mariana, M., Mahidin, M., and Maulana, F., 2018. Penyerapan Limbah Cair Amonia Menggunakan Arang Aktif Ampas Kopi. *Jurnal Litbang Industri*, 8, 47. <https://doi.org/10.24960/jli.v8i1.3685.47-52>.
- Apriyani, N., 2017. Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah Laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2, 37–44. <https://doi.org/10.33084/mitd.v2i1.132>.
- Ayawei, N., Ebelegi, A.N., and Wankasi, D., 2017. Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, 2017, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>.
- Badan Standardisasi Nasional, 2005. Sni 06-6989.31-2005 Air Dan Air Limbah - Bagian 31 : Cara Uji Kadar Fosfat Dengan Spektrofotometer Secara Asam Askorbat.
- Beltrame, K.K., Cazetta, A.L., de Souza, P.S.C., Spessato, L., Silva, T.L., and Almeida, V.C., 2017. Adsorption of Caffeine on Mesoporous Activated Carbon Fibers Prepared from Pineapple Plant Leaves. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.034>.
- Demiral, I., and Şamdan, C.A., 2016. Preparation and Characterisation of Activated Carbon From Pumpkin Seed Shell Using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Anadolu University Journal of Science and Technology-A Applied Sciences and Engineering*, 17, 125–138. <https://doi.org/10.18038/btda.64281>.
- Din, M.I., Naseem, K., Mirza, M.L., and Batool, M., 2018. Evaluation of Saccharum Bengalense as a Non-Conventional Biomaterial for Biosorption of Mn (II) Ions from Aqueous Solutions. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 37, 179–189.
- Ebelegi, A.N., Ayawei, N., and Wankasi, D., 2020. Interpretation of Adsorption Thermodynamics and Kinetics. *Open Journal of Physical Chemistry*, 10, 166–182. <https://doi.org/10.4236/OJPC.2020.103010>.
- Esterlita, M.O., and Herlina, N., 2015. Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl<sub>2</sub>, KOH, Dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelepah Aren (Arennga Pinnata). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4, 47–51.
- Farouq, R., and Yousef, N.S., 2015. Equilibrium and Kinetics Studies of Adsorption of Copper (II) Ions on Natural Biosorbent. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6, 319–324. <https://doi.org/10.7763/ijcea.2015.v6.503>.
- Fauzi, A.A., Prasetyo, I., Rochmadi, and Ariyanto, T., 2018. Karbon Mesopori Dari Pirolisis Polimer Sintetis Dan Aplikasinya Untuk Penjerapan Gas Rumah Kaca. *Jurnal Konversi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 7,

19–28.

- Fernianti, D., and Suryati, L., 2017. Pengaruh Jenis Detergen Dan Rasio Pengenceran Terhadap Proses Penyerapan Surfaktan Dalam Limbah Detergen Menggunakan Karbon Aktif Dari Ampas Teh. *Jurnal Distilasi*, 2, 10–14.
- Ferreira, A.S., Mota, A.A., Oliveira, A.M., Rodrigues, F.I.L., Pacífico, S.N., Da Silva, J.E., Abagaro, B.T.O., Saraiva, G.D., De Castro, A.J.R., Teixeira, R.N.P., and Sousa Neto, V.O., 2019. Equilibrium and Kinetic Modelling of Adsorption: Evaluating the Performance of Adsorbent in Softening Water for Irrigation and Animal Consumption. *Revista Virtual de Química*, 11, 1752–1766. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190123>.
- Fitriansyah, A., Amir, H., and Elvinawati, 2021. Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif Dari Sabut Pinang (Areca Catechu) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigosol Blue 04-B. *Alotrop*, 5, 42–54. <https://doi.org/10.33369/atp.v5i1.16485>.
- González-García, P., Gamboa-González, S., Andrade Martínez, I., and Hernández-Quiroz, T., 2020. Preparation of Activated Carbon from Water Hyacinth Stems by Chemical Activation with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and Its Performance as Adsorbent of Sodium Naproxen. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 39, 1–13. <https://doi.org/10.1002/ep.13366>.
- Hidayah, E.N., and Damayanti, L.K., 2021. Pengaruh Adsorben Komersial Terhadap Penurunan Fosfat Dan Surfaktan Anionik (Detergen) Pada Air Limbah Laundry. *EnviroUS*, 2, 18–26. <https://doi.org/10.33005/enviroUS.v2i1.54>.
- Huang, Y., Li, S., Chen, J., Zhang, X., and Chen, Y., 2014. Adsorption of Pb(II) on Mesoporous Activated Carbons Fabricated from Water Hyacinth Using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Activation: Adsorption Capacity, Kinetic and Isotherm Studies. *Applied Surface Science*, 293, 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.12.123>.
- Kajjumba, G.W., Emik, S., Öngen, A., Kurtulus Özcan, H., and Aydın, S., 2019. Modelling of Adsorption Kinetic Processes—Errors, Theory and Application. *Advanced Sorption Process Applications*, 1–19. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80495>.
- Koyuncu, F., Güzel, F., and Saygılı, H., 2018. Role of Optimization Parameters in the Production of Nanoporous Carbon from Mandarin Shells by Microwave-Assisted Chemical Activation and Utilization as Dye Adsorbent. *Advanced Powder Technology*, 29, 2108–2118. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2018.05.019>.
- Kuang, Y., Zhang, X., and Zhou, S., 2020. Adsorption of Methylene Blue in Water onto Activated Carbon by Surfactant Modification. *Water*, 12, 1–19. <https://doi.org/doi:10.3390/w12020587>.
- Lusiana, U., 2011. Efisiensi Pengolahan Air Limbah Deterjen Menggunakan Sistem Upflow Anaerobic Filter Dengan Aklimatisasi Lumpur Aktif. *Biopropal Industri*, 2, 13–19. <https://doi.org/10.36974/jbi.v2i1.719>.
- Mahmood, T., Ali, R., Naeem, A., Hamayun, M., and Aslam, M., 2017. Potential of Used Camellia Sinensis Leaves as Precursor for Activated Carbon Preparation by Chemical Activation with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; Optimization Using Response Surface Methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 548–563. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.024>.
- Majid, M., Amir, R., Umar, R., and Hengky, H.K., 2017. Efektivitas Penggunaan Karbon Aktif Pada Penurunan Kadar Fosfat Limbah Cair Usaha Laundry Di Kota Parepare Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional IKAKESMADA "Peran Tenaga Kesehatan dalam Pelaksanaan SDGs,"* 85–91.
- Maryanti, R., Nandiyanto, A.B.D., Manullang, T.I.B., Hufad, A., and Sunardi, 2020. Adsorption of Dye on Carbon Microparticles: Physicochemical Properties during Adsorption, Adsorption Isotherm and Education for Students with Special Needs. *Sains Malaysiana*, 49, 2977–2988. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4912-09>.
- Morales, L.S., Baas-López, J.M., Barbosa, R., Pacheco, D., and Escobar, B., 2021. Activated Carbon from Water Hyacinth as Electrocatalyst for Oxygen Eduction Reaction in an Alkaline Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 25995–26004. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.04.094>.
- Nibret, G., Ahmad, S., Rao, D.G., Ahmad, I., Shaikh, M.A.M.U., and Rehman, Z.U., 2019. Removal of Methylene Blue Dye from Textile Wastewater Using Water Hyacinth Activated Carbon as Adsorbent: Synthesis, Characterization and Kinetic Studies. *SSRN Electronic Journal*, 1959–1969. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3358101>.
- Pargiman, G.N.R., Arnelli, and Astuti, Y., 2018. Adsorption of HDTMA-Br Surfactant with Concentration Variation by Rice Husk-Based Activated Carbon Produced by Variation of Carbonization Temperature. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 4, 171–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jksa.21.4.171-174>.
- Rao, H.J., King, P., and Kumar, Y.P., 2018. Equilibrium Isotherm, Kinetic Modeling, and Characterization Studies of Cadmium Adsorption in an Aqueous Solution by Activated Carbon Prepared from Bauhinia Purpurea Leaves. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11, 1577–1586. <https://doi.org/10.31788/RJC.2018.1144024>.
- Riyanto, C.A., Hidayati, N.A., and Martono, Y., 2023. Reducing Chemical Oxygen Demand and Turbidity Levels

- in Laundry Waste Using Activated Carbon from Water Hyacinth Leaves. *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, 6, 164–175. <https://doi.org/10.20885/IJCA.VOL6.ISS2.ART8>
- Riyanto, C.A., Pattiserlihun, A., Kurniawan, E., Andiani, B.Y., and Perdani, F.P., 2022. Surface Analysis of Activated Carbon from Rice Husk Based on Carbonization and Activation Method. *Proceeding of the 1St International Conference on Standardization and Metrology (Iconstam) 2021*, 2664, 020005. <https://doi.org/10.1063/5.0103325>.
- Riyanto, C.A., and Prabalaras, E., 2019. The Adsorption Kinetics and Isoterm of Activated Carbon from Water Hyacinth Leaves (*Eichhornia Crassipes*) on Co(II). *Journal of Physics: Conference Series*, 1307. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012002>.
- Riyanto, C.A., Raharjianti, B.M., and Aminu, N.R., 2021. Studi Kinetika Dan Isoterm Adsorpsi Ion Fe (III) Dan Mn (II) Pada Karbon Aktif Batang Eceng Gondok. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15, 44–55. <https://doi.org/10.26578/JRTI.V15I1.6633>.
- Saadi, R., Saadi, Z., Fazaeli, R., and Fard, N.E., 2015. Monolayer and Multilayer Adsorption Isotherm Models for Sorption from Aqueous Media. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32, 787–799. <https://doi.org/10.1007/s11814-015-0053-7>.
- Sahara, E., Dahliani, N.K., and Manuaba, I.B.P., 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) dengan Aktivator NaOH. *Jurnal Kimia*, 174. <https://doi.org/10.24843/jchem.2017.v11.i02.p12>.
- Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Puspaningrum, T., Adnan, A.A., and Indrasti, N.S., 2020. Kinerja Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat Pada Air Limbah Laundry Performance of Activated Carbon from Cassava Peel in Reducing Phosphate Concentration in Laundry Liquid Waste. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30, 180–189.
- Seghairi, N., and Abdelmadjid, H., 2021. Possibility of Removing Phosphates from Activated Charbon Made from Date Kernels 06, 817–821. <https://doi.org/10.47191/etj/v6i3.03>.
- Setyawan, M.N., Wardani, S., and Kusumastuti, E., 2018. Arang Kulit Kacang Tanah Teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II) dan Diimobilisasi dalam Bata Beton. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7, 262–269.
- Sulastri, S., Nuryono, Kartini, I., and Kunarti, E.S., 2014. Kinetika Dan Keseimbangan Adsorpsi Ion Kromium (III) dalam Larutan pada Senyawa Silika dan Modifikasi Silika Hasil Sintesis dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Penelitian Saintek*, 19(2), 19–33.
- Sumanjit, Rani, S., and Mahajan, R.K., 2016. Equilibrium, Kinetics and Thermodynamic Parameters for Adsorptive Removal of Dye Basic Blue 9 by Ground Nut Shells and *Eichhornia*. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1464–S1477. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.03.013>.
- Tan, K.L., and Hameed, B.H., 2017. Insight Into the Adsorption Kinetics Models for the Removal of Contaminants from Aqueous Solutions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 74, 25–48. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.024>.
- Tran, H.N., Huang, F.C., Lee, C.K., and Chao, H.P., 2017. Activated Carbon Derived from Spherical Hydrochar Functionalized with Triethylenetetramine: Synthesis, Characterizations, and Adsorption Application. *Green Processing and Synthesis*, 6, 565–576. <https://doi.org/10.1515/gps-2016-0178>.
- Utomo, A.D., Ridho, M.R., Saleh, E., and Putranto, D.D.A., 2010. Pollution in The Bengawan Solo River Between Solo and Sragen, Central Java. *Bawal Widya Riset Perikanan Tangkap*, 3, 25–32.
- Utomo, W P, Nugraheni, Z. V, Rosyidah, A., Shafwah, O.M., and Naashihah, L.K., 2018. Penurunan Kadar Surfaktan Anionik Dan Fosfat Dalam Air Limbah Laundry Di Kawasan Keputih , Surabaya Menggunakan Karbon Aktif 3, 127–140.
- Utomo, Wahyu Prasetyo, Nugraheni, Z.V., Rosyidah, A., Shafwah, O.M., Naashihah, L.K., Nurfitria, N., and Ullfindrayani, I.F., 2018. Penurunan Kadar Surfaktan Anionik Dan Fosfat Dalam Air Limbah Laundry Di Kawasan Keputih, Surabaya Menggunakan Karbon Aktif. *Akta Kimia Indonesia*, 3, 127. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v3i1.3528>.
- Waluyo, L., 2017. Characterization of Heterotrophic Bacteria with Tolerance Against Detergent from Domestic Wastewater in Malang Indonesia for Decomposer Formulas. *International Journal of Applied Environmental*, 12, 1939–1950.
- Wang, J., and Guo, X., 2020a. Adsorption Kinetic Models: Physical Meanings, Applications, and Solving Methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390, 122156. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122156>.
- Wang, J., and Guo, X., 2020b. Adsorption Isotherm Models: Classification, Physical Meaning, Application and Solving Method. *Chemosphere*, 258, 127279. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127279>.

- Wang, J., Shen, H., Hu, X., Li, Y., Li, Z., Xu, J., Song, X., Zeng, H., and Yuan, Q., 2016. A Targeted “ Capture ” and “ Removal ” Scavenger toward Multiple Pollutants for Water Remediation Based on Molecular Recognition. *Advanced Science*, 3(3), 1500289. <https://doi.org/10.1002/advs.201500289>.
- Wang, X., Yuan, S., and Jiang, B., 2019. Wetting Process and Adsorption Mechanism of Surfactant Solutions on Coal Dust Surface. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2019/9085310>.
- Wardhana, I.W., H, D.S., and R, D.I., 2013. Penggunaan Karbon Aktif dari Sampah Plastik untuk Menurunkan Kandungan Phosphat pada Limbah Cair (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Laundry di Tembalang, Semarang). *Jurnal Presipitasi*, 10, 30–40. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v10i1.30-40>.
- Wijaya, D.R.P., Martono, Y., and Riyanto, C.A., 2018. Synthesis and Characterization of Nano Activated Carbon Tea Waste (*Camellia Sinensis* L.) Viewed from the Content and Ratio of Orthophosphoric Acid. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 3, 49–58. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol3.iss2.art2>.
- Yakout, S.M., and Sharaf El-Deen, G., 2016. Characterization of Activated Carbon Prepared by Phosphoric Acid Activation of Olive Stones. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1155–S1162. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.12.002>.
- Yaneva, Z.L., Koumanova, B.K., and Allen, S.J., 2013. Applicability Comparison of Different Kinetic/Diffusion Models for 4-Nitrophenol Sorption on *Rhizopus Oryzae* Dead Biomass. *Bulgarian Chemical Communications*, 45, 161–168.
- Yuliani, R.L., Purwanti, E., and Pantiwati, Y., 2015. Effect of Waste Laundry Detergent Industry Against Mortality and Physiology Index of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS*, 822–828.
- Yunus, R., Mikrianto, E., Abdurrahman, H., and Jaya, A.K., 2021. Karakteristik Arang Aktif Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dengan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, Dan KOH. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 6.