



Selektivitas Adsorpsi Campuran Biner Fe(II)/Cu(II) Menggunakan Karbon Aktif dari Sekam Padi dan Serbuk Gergaji Kayu Jati

[Adsorption Selectivity on Binary Mixture of Fe(II)/Cu(II) Using Activated Carbon from Rice Husks and Teak Sawdust]

Cucun Alep Riyanto✉, Jose D Michael Yonggulemba, Delvi Anandhia Stefani, Tirza Widyamurti Brotosudarmo, Diki Anggaran, Yehez Kiel Sandy Pradana, Yohanes Ariesto, Fidelis Tertius Aluh Christyawardana, Iga Permata Sari, Nicho Vernanda Wina Puspita, Lutyono Lutyono

¹⁾ Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga, Indonesia

Abstract. Increasing human needs cause an increase in production on an industrial scale and can have an impact on increasing contamination of the aquatic environment. Efforts to improve water quality can be made by removing contaminants using renewable activated carbon originating from agricultural waste such as rice husks and teak sawdust. This research aims to examine the adsorption capacity of activated carbon from rice husks (RHAC) and teak sawdust (TSAC) on a binary mixture of Fe(II)/Cu(II) as well as the level of selectivity of each adsorbent on Fe(II) and Cu(II) ions. RHAC and TSAC activated carbon are produced through carbonization processes ($T=400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=60$ minutes), reflux (NaOH 2N, $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=120$ minutes), chemical activation using H_3PO_4 (30%, 1:3, b/b) and physics (furnace). The results of this research are that RHAC and TSAC activated carbon have the functional groups O-H (str), C-H (str), $\text{C}\equiv\text{C}$, C=C, C-O (str), and C-O-P (str). The surface character of RHAC and TSAC activated carbon is dominated by the elements C, O, and P. The results of the Fe(II) and Cu(II) ion adsorption treatment using RHAC and TSAC activated carbon follow PSO kinetic modeling with R^2 values of 0.9221 and 0.9565 on RHAC and 0.9915 and 0.97 on TSAC. TSAC-activated carbon more selectively adsorbs Fe(II) and Cu(II) ions compared to RHAC-activated carbon with adsorption percentages reaching 97.34% and 87.82%, respectively.

Keywords: Activated carbon, adsorption, metal ions, rice husk, teak sawdust

Abstrak. Meningkatnya kebutuhan hidup manusia menyebabkan kenaikan produksi pada skala industri dan dapat berdampak pada meningkatnya kontaminasi pada lingkungan perairan. Upaya perbaikan kualitas perairan dapat dilakukan dengan mengambil zat kontaminan menggunakan karbon aktif terbarukan yang berasal dari limbah pertanian seperti sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan adsorpsi karbon aktif dari sekam padi (RHAC) dan serbuk gergaji kayu jati (TSAC) pada campuran biner Fe(II)/Cu(II) serta tingkat selektivitas dari tiap adsorben pada ion Fe(II) dan Cu(II). Karbon aktif RHAC dan TSAC diproduksi melalui proses karbonisasi ($T=400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=60$ menit), refluks (NaOH 2N, $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=120$ menit), aktivasi secara kimia menggunakan H_3PO_4 (30%, 1:3, b/b) dan fisika (*furnace*). Hasil penelitian ini adalah karbon aktif RHAC dan TSAC memiliki gugus fungsional O-H (str), C-H (str), $\text{C}\equiv\text{C}$, C=C, C-O (str), dan C-O-P (str). Karakter permukaan karbon aktif RHAC dan TSAC didominasi unsur C, O, dan P. Hasil perlakuan adsorpsi ion Fe(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif RHAC dan TSAC mengikuti pemodelan kinetika PSO dengan nilai R^2 berturut-turut adalah 0,9221 dan 0,9565 pada RHAC serta 0,9915 dan 0,97 pada TSAC. Karbon aktif TSAC lebih selektif menyerap ion Fe(II) dan Cu(II) dibandingkan karbon aktif RHAC dengan %adsorpsi mencapai 97,34% dan 87,82%, berturut-turut.

Kata kunci: Adsorpsi, ion logam, karbon aktif, sekam padi, serbuk gergaji kayu jati

Diterima: 25 Maret 2024, Disetujui: 29 April 2024

Sitasi: Riyanto, C.E., Yonggulemba, J.D.M., Stefani, D.A., Brotosudarmo, T.W., Anggaran, D., Pradana, Y.K.S., Ariesto, Y., Christyawardana, V.T.A., Sari, I., Puspita, N.P.W., dan Lutyono. (2024). Selektivitas Adsorpsi Campuran Biner Fe(II)/Cu(II) Menggunakan Karbon Aktif dari Sekam Padi dan Serbuk Gergaji Kayu Jati. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(1): 58-68.

✉ Corresponding author

E-mail: cucun.riyanto@uksw.edu

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i1.17060>



LATAR BELAKANG

Kebutuhan masyarakat pada barang jadi maupun non-jadi yang terus meningkat menyebabkan perkembangan industri pada masa kini menjadi sangat masif. Hasil samping yang tidak terpakai dari sisa produksi di industri akan keluar menjadi limbah dan berpotensi terjadinya kontaminasi pada lingkungan khususnya perairan (Dong *et al.*, 2016; Singha & Guleria, 2014). Kontaminan (polutan) tersebut dapat berupa senyawa anorganik maupun organik yang tidak bereaksi atau bahkan dapat bereaksi dengan senyawa beracun lainnya dalam limbah. Berbeda dengan polutan organik yang mudah terdegradasi, polutan anorganik memiliki karakter yang susah terdegradasi di perairan (Cherono *et al.*, 2021). Polutan anorganik umumnya berasal dari ion logam transisi, seperti ion Fe(II) dan Cu(II) (Saha *et al.*, 2003).

Upaya untuk memisahkan polutan dari perairan dapat dilakukan melalui proses tradisional seperti presipitasi kimia, koagulasi, *reverse osmosis*, ekstraksi pelarut, dan pertukaran ion. Akan tetapi proses tersebut memiliki kelemahan dalam hal banyaknya penggunaan reaktan dan kuantitas energi yang diperlukan (Raji *et al.*, 2023). Proses lain yang cukup menjanjikan adalah metode adsorpsi karena proses yang sederhana, rentang pH proses yang luas, dan biaya yang rendah (Madhubashani *et al.*, 2021; Raji *et al.*, 2023).

Material adsorben yang potensinya cukup baik adalah karbon aktif. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 – 3500 m²/g, sehingga sangat baik dalam menjerap gas dan senyawa kimia secara selektif, berdasarkan ukuran atau volume pori-pori dan luas permukaan. Kapasitas adsorpsi karbon aktif sangat besar, yaitu 25-1000% berat karbon

aktif (Akhsanti *et al.*, 2010; Sembiring & Sinaga, 2003). Akan tetapi, sumber karbon aktif menjadi tantangan baru dimana karbon aktif komersial memiliki biaya produksi yang tinggi. Oleh karena itu, perlu pengembangan karbon aktif yang terbarukan dari limbah pertanian yang mengandung selulosa, hemi-selulosa, pektin, dan ekstrak tanaman lainnya (Bello *et al.*, 2013; Chikri *et al.*, 2020; Raji *et al.*, 2023).

Limbah pertanian yang berpotensi sebagai bahan karbon aktif adalah sekam padi dan serbuk gergaji kayu Jati. Tanaman padi menghasilkan beras dan kulitnya yang dinamakan sekam padi. Ketika bulir padi digiling, sekitar 78% beratnya akan menjadi beras dan 22% akan menjadi sekam padi (limbah). Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa yang sama seperti bahan biomassa dengan kandungan 50% selulosa, 25-30% lignin, dan 15-20% silika (Sanka *et al.*, 2020). Bahan lainnya yaitu serbuk gergaji kayu jati mengandung berbagai komponen seperti holoselulosa 70,19-72,24%; selulosa 40,26-43,12%; hemiselulosa 27,07-31,97%; dan lignin 24,74-28,07% (Erawati & Helmy, 2018). Tingginya kandungan selulosa dan lignin pada kedua bahan tersebut menunjukkan potensi untuk dijadikan adsorben polutan logam berbasis karbon aktif (FitzPatrick *et al.*, 2010; Maulana *et al.*, 2020; Xiao *et al.*, 2012).

Berdasarkan masalah yang muncul dari limbah industri dan potensi dari sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati sebagai karbon aktif yang terbarukan, belum pernah dilakukan pemanfaatan karbon aktif dari kedua bahan tersebut untuk menjerap dua ion seperti ion Fe(II) dan Cu(II) dalam larutan homogen (biner). Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada pemanfaatan selulosa pada sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati

sebagai karbon aktif yang selektif pada penyerapan ion Fe(II) dan Cu(II) dalam campuran larutan biner.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Peralatan

Bahan baku serbuk gergaji kayu jati diambil dari industri mebel daerah Kemiri (Salatiga) dan sekam padi dari penggilingan gabah daerah Watuagung (Kabupaten Semarang). Bahan kimia yang digunakan meliputi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck), reaktan Ferrover (HACH), reaktan Cuver (HACH), akuades. Peralatan meliputi Spektrofotometer FTIR (Shimadzu Prestige 21, UGM), Spektrometer SEM-EDX (SEM Quanta FEG 450, RTI Pertamina), dan Spektrofotometer UV-Vis (PG T60 Instruments, UKSW).

Prosedur

Refluks dan karbonisasi

Sekam padi dicuci kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60-80 °C selama 24 jam, setelah kering sekam padi dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 30 mesh yang selanjutnya disebut sebagai GRH (*Ground Rice Husk*). NaOH 2N (200 mL) ditambahkan ke dalam kolf yang berisi 50 g GRH dan direfluks pada suhu 100 °C selama 2 jam lalu dinetralkan menggunakan HCl 1N dan akuades hingga pH 7, selanjutnya dioven pada suhu 100 °C selama 24 jam yang mana selanjutnya disebut BRH (*Base Rice Husk*). Metode ini juga dilakukan pada sampel serbuk gergaji kayu jati dan diperoleh sampel akhir dengan kode sampel BTS (*Base Teak Sawdust*). Disiapkan BRH dan BTS, dilakukan karbonisasi dengan suhu 400 °C selama 1 jam menggunakan *furnace*, hasil karbon yang diperoleh dinamakan BCRH (*Base Carbonized Rice Husk*) dan BCTS (*Base*

Carbonized Teak Sawdust), berturut-turut (Riyanto et al., 2021). Hasil akhir sampel BCRH dan BCTS kemudian diayak dengan ayakan 60 mesh lalu disimpan.

Aktivasi

Dilakukan aktivasi pada BCRH dan BCTS seberat 5,00 g karbon menggunakan H_3PO_4 30% dengan rasio impregnasi 1:3 (karbon: H_3PO_4 , b/b) selama 24 jam. Hasil kemudian disaring dan endapan dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C selama 24 jam. Karbon aktif kemudian diaktivasi dengan menggunakan alat *furnace* pada suhu 600-700 °C selama 1 jam. Karbon aktif kemudian dinetralkan (pH=7) dengan menggunakan NaOH dan akuades. Setelah mencapai pH netral, karbon aktif dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C selama 24 jam. Karbon aktif yang diperoleh dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 60 mesh. Hasil metode aktivasi diberi kode sampel RHAC (*Rice Husk Activated Carbon*) dan TSAC (*Teak Sawdust Activated Carbon*) (Hananto et al., 2022; Riyanto et al., 2022; Riyanto et al., 2021).

Aplikasi adsorpsi campuran biner Fe(II)/Cu(II)

Proses kinetika adsorpsi dilakukan melalui penambahan 100 mg karbon aktif pada 25 mL larutan ion Fe(II)/Cu(II) konsentrasi 2 mg/L selama 20-90 menit melalui metode pengadukan (Riyanto et al., 2021; Riyanto & Prabalaras, 2019; Zhang et al., 2013). Pengukuran sampel uji (larutan ion logam) dalam penelitian ini dilakukan dengan penambahan reaktan HACH sesuai jenis logam yang diuji, lalu dihomogenisasi menggunakan *vortex*. Pengujian kandungan ion logam dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (λ ion Fe(II)= 516 nm, λ ion Cu(II)= 560 nm).

Selektivitas adsorpsi ditentukan berdasarkan nilai persen adsorpsi menggunakan rumus berikut (Kul et al., 2023):

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Data adsorpsi yang diperoleh lalu diplot pada 6 (enam) pemodelan kinetika adsorpsi yaitu Orde 0, Orde 1, Pseudo Orde 2, Elovich, Bangham, dan Webber Morris.

Kinetika Orde 0

$$Q_t = Q_e + k_0 t \quad (2)$$

Q_t (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t (menit), Q_e (mg/g) menunjukkan kapasitas adsorpsi saat kesetimbangan, dan k_0 ada konstanta laju Orde 0 (Medhi et al., 2020).

Kinetika Orde 1

$$\ln C_t = -k_1 t + \ln C_0 \quad (3)$$

Nilai k_1 yaitu tetapan laju reaksi Orde 1 (m/s), C_t yaitu konsentrasi adsorbat pada waktu t dan C_0 yaitu konsentrasi mula-mula. Nilai k_1 didapatkan dari gradien plot $\ln C_0/C_t$ vs t (Kurniawati et al., 2016).

Kinetika Pseudo Orde 2

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{Q_e} t + \left(\frac{1}{k_2 Q_e^2} \right) \quad (4)$$

Nilai k_2 yaitu tetapan laju reaksi pseudo orde 2 (g/mg.min), Q_t yaitu nilai kapasitas adsorpsi pada waktu t , dan Q_e yaitu kapasitas adsorpsi dalam kesetimbangan. Plot yang digunakan pada persamaan ini yaitu t/Q_t vs t (Wang & Guo, 2020).

Kinetika Elovich

$$Q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (5)$$

Nilai β yaitu konstanta desorpsi (g/mg), α yaitu konstanta laju dari kinetika Elovich (mg/g.min), Q_t yaitu kapasitas adsorpsi pada waktu t , dan t adalah waktu kontak (menit) (Tan & Hameed, 2017).

Kinetika Bangham

$$\ln Q_t = \beta \ln t + \ln k_3 \quad (6)$$

Nilai Q_t adalah jumlah adsorbat pada waktu t dan k_3 adalah konstanta Bangham. Plot linear yang digunakan adalah $\ln t$ vs $\ln Q_t$ (Largitte & Pasquier, 2016).

Kinetika Webber Morris

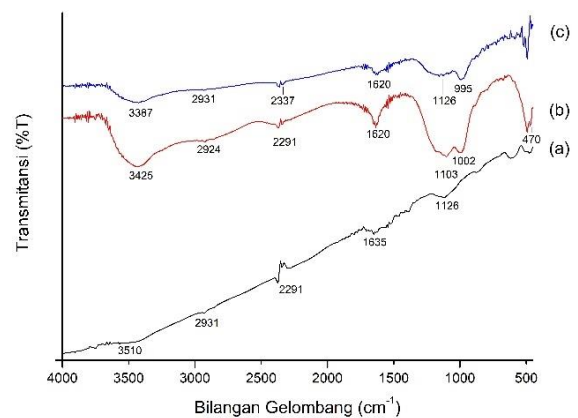
$$Q_t = k_4 \sqrt{t} + B \quad (7)$$

Nilai k_4 adalah konstanta laju dari kinetika Weber-Morris (mg/(g.min^{0.5})) dan B adalah kapasitas adsorpsi (mg/g) (Tan & Hameed, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter Gugus Fungsional Karbon Aktif

Karbon aktif yang diperoleh pada penelitian ini dianalisis dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengetahui karakter gugus fungsional yang dimiliki. Hasil analisis FTIR disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektra FTIR karbon aktif: (a) komersial/standard; (b) RHAC; dan (c) TSAC

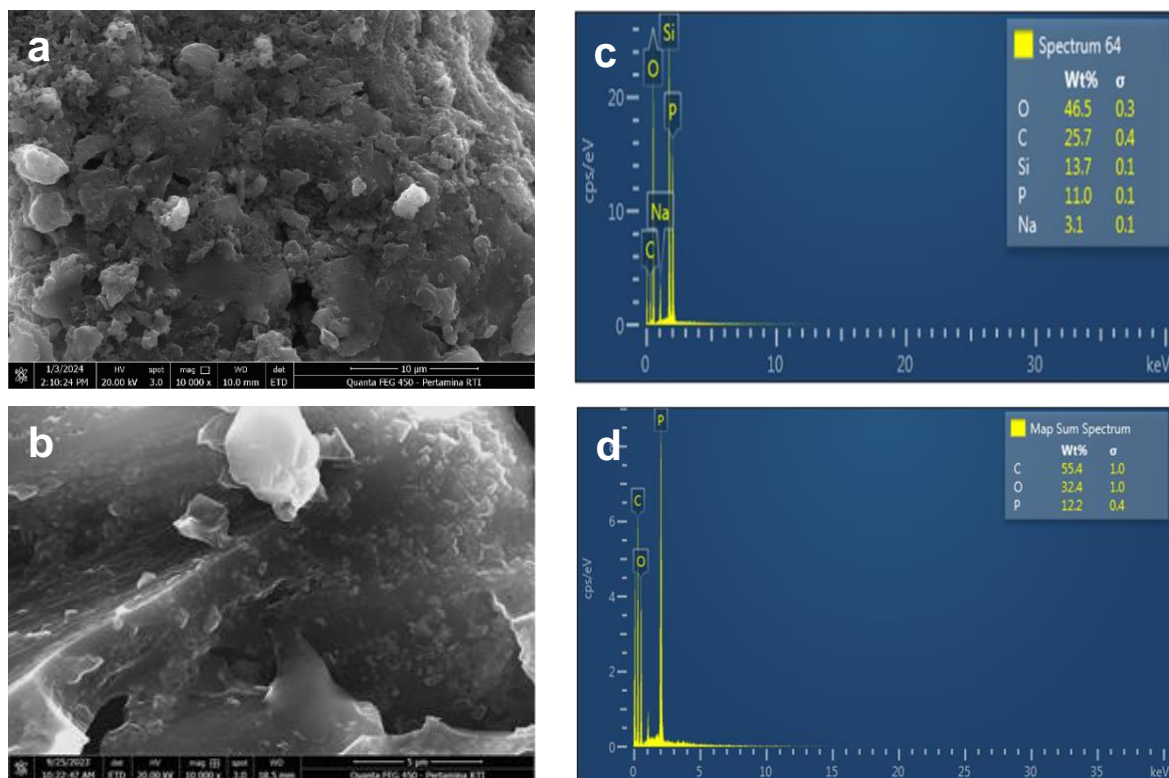
Pada karbon aktif standard (a) ditemukan serapan pada bilangan gelombang 3510, 2931, 2291, 1635, dan 1126 cm^{-1} yang berturut-turut merupakan vibrasi dari gugus O-H (str), C-H (str), $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}=\text{C}$, dan C-O (str) (Cherono et al., 2021; Mistry, 2009). Pada karbon aktif RHAC (b) dan TSAC (c) terjadi beberapa serapan baru yaitu pada rentang bilangan gelombang 400 –

1200 cm^{-1} . Serapan pada bilangan gelombang 995 dan 1002 cm^{-1} diprediksi sebagai vibrasi dari gugus P=O dan C-O-P (str) (Luo *et al.*, 2018; Riyanto *et al.*, 2021). Vibrasi ini dapat muncul sebagai akibat proses aktivasi karbon aktif menggunakan H_3PO_4 . Selain itu, muncul serapan baru pada bilangan gelombang 470 cm^{-1} (b) yang diprediksi sebagai vibrasi Si-O-Si (str) (Mistry, 2009; Yin *et al.*, 2019). Adanya vibrasi Si-O-Si (str) merupakan hasil konfirmasi

bahwa RHAC masih mengandung gugus silika (Sanka *et al.*, 2020).

Karakter Permukaan Karbon Aktif

Hasil uji permukaan pada RHAC dan TSAC menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan serta kandungan unsur di permukaan karbon aktif disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Citra SEM pada permukaan RHAC (a) dan TSAC (b) pada perbesaran 10.000x serta hasil uji EDX komposisi unsur pada RHAC (c) dan TSAC (d).

Berdasarkan Gambar 2, diketahui bahwa kandungan unsur tertinggi pada RHAC adalah unsur oksigen sebesar 46,5% (%w) dan pada TSAC adalah unsur karbon sebesar 55,4% (%w). Pada kedua jenis karbon aktif tersebut, sebaran distribusi unsur di permukaannya didominasi oleh unsur karbon dan oksigen.

Adanya unsur Si pada RHAC memperkuat karakter adanya vibrasi Si-O-Si dari analisis

gugus fungsional menggunakan FTIR (Yin *et al.*, 2019). Hasil EDX menunjukkan adanya unsur P pada RHAC dan TSAC, hal ini sejalan dengan proses sintesis karbon aktif yang menggunakan H_3PO_4 . Selain itu, ditemukan juga deteksi unsur Na yang diprediksi sebagai residu proses refluks yang berasal dari senyawa NaOH (Riyanto *et al.*, 2022; Riyanto *et al.*, 2021).

Tabel 1. Distribusi unsur permukaan RHAC dan TSAC

Unsur	% Unsur (Wt)	
	RHAC	TSAC
C (Karbon)	25,7	55,39
O (Oksigen)	46,5	32,45
P (Fosfor)	11,0	12,16
Si (Silikon)	13,7	-
Na (Natrium)	3,1	-

Aplikasi Kinetika Adsorpsi Campuran Biner Fe(II)/Cu(II)

Hasil perlakuan kinetika adsorpsi ion Fe(II)/Cu(II) menggunakan RHAC dan TSAC disajikan pada 6 pemodelan yaitu Orde 0, Orde 1, Pseudo Orde 2, Elovich, Bangham, dan Webber-Morris (Gambar 3). Berdasarkan hasil plotting yang dilakukan, dapat diketahui bahwa proses adsorpsi ion Fe(II)/Cu(II) menggunakan karbon aktif RHAC maupun TSAC mengikuti pemodelan kinetika Pseudo Orde 2 (PSO). Penentuan ini dilakukan dengan menghitung nilai linearitas dari pemodelan kinetika adsorpsi dimana nilai linearitas (R^2) tertinggi diperoleh pada pemodelan kinetika PSO dengan nilai $R^2 > 0,9000$ (Ho, 2006).

Pemodelan kinetika PSO memiliki pendekatan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara kimia (*chemisorption*) dan

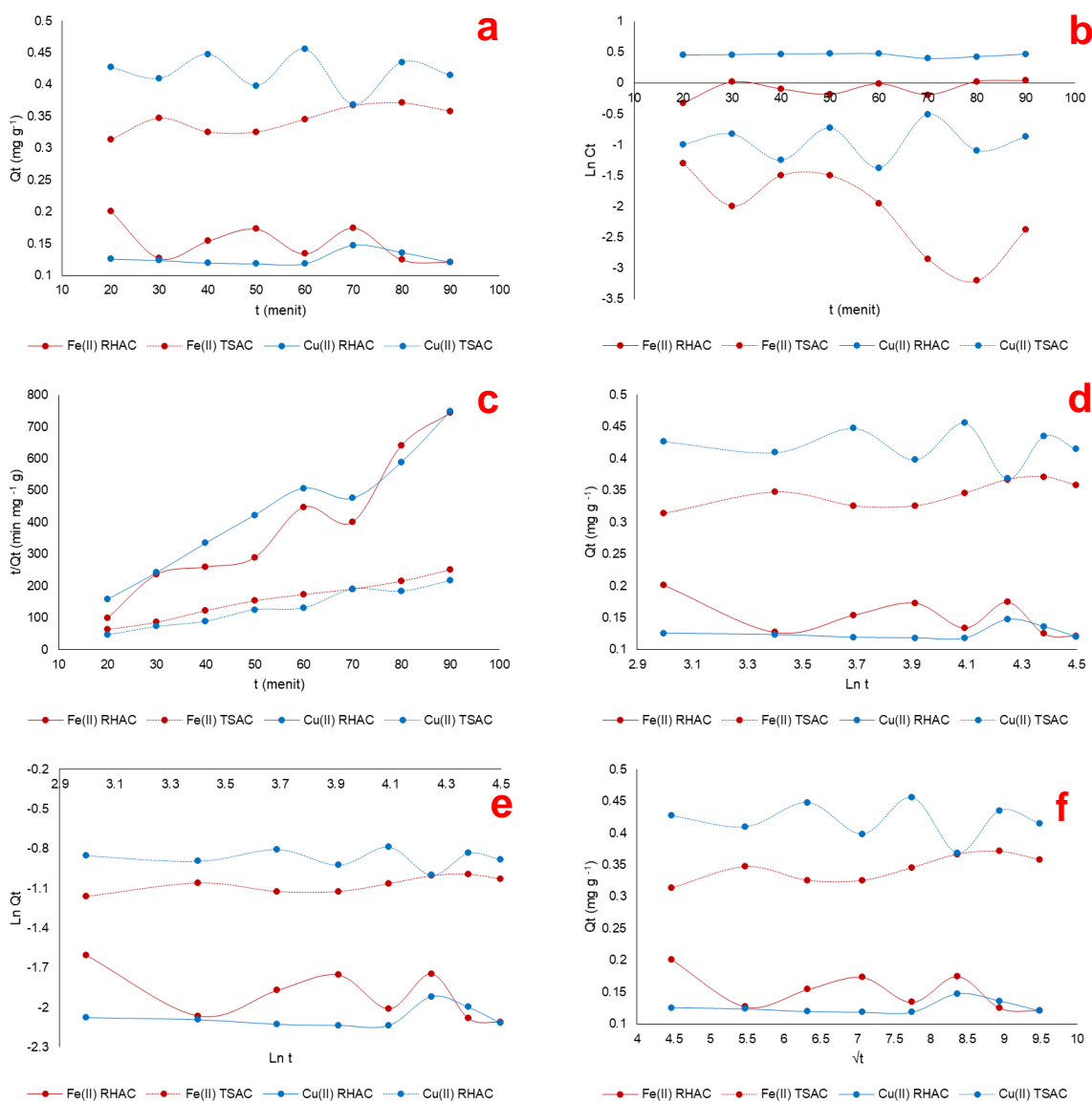
laju adsorpsi bergantung pada kapasitas adsorpsi bukan konsentrasi adsorbat (Ho & McKay, 1999; Sahoo & Prelot, 2020). Berdasarkan pemodelan PSO ini, dapat ditentukan parameter kinetika lainnya yaitu Q_e dan k_2 dimana Q_e adalah kapasitas adsorpsi saat keadaan kesetimbangan dan k_2 adalah konstanta laju reaksi PSO. Nilai Q_e tertinggi diperoleh pada adsorpsi ion Cu(II) menggunakan TSAC yaitu 0,4092 mg/g. Pada penentuan parameter k_2 , diperoleh nilai konstanta laju positif dan negatif. Nilai konstanta negatif pada adsorpsi ion Fe(II) menggunakan RHAC (-0,9405 g/mg.min) dan adsorpsi ion Cu(II) menggunakan TSAC (-2,7372 g/mg.min) menunjukkan bahwa karbon aktif telah mencapai titik jenuh (kapasitas) untuk penjerapan (Nurhasni *et al.*, 2012).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Demiral & Güngör, 2016) untuk kajian adsorpsi ion Cu(II) menggunakan karbon aktif dari ampas anggur dan penelitian (Maneechakr & Karnjanakom, 2017) untuk adsorpsi ion Fe(II) dan Cr(VI) menggunakan karbon aktif. Kedua penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa plot pemodelan kinetika adsorpsi yang paling sesuai adalah kinetika Pseudo Orde 2 (PSO).

Tabel 2. Parameter kinetika adsorpsi ion Fe(II)/Cu(II) menggunakan RHAC dan TSAC

Kinetic	Parameter	RHAC		TSAC	
		Fe(II)	Cu(II)	Fe(II)	Cu(II)
Orde 0	R^2	0,2982	0,0953	0,6399	0,0202
	k_0	-0,0007	0,0001	0,0007	-0,0002
	Q_e (mg/g)	0,1873	0,1189	0,3066	0,4285
Orde 1	R^2	0,3032	0,0965	0,5986	0,0136
	k_1 (m/s)	-0,003	0,0003	0,0450	-0,0013
Pseudo Orde 2	R^2	0,9221	0,9565	0,9915	0,9700
	k_2 (g/mg.min)	-0,9405	3,0352	0,4711	-2,7372
	Q_e (mg/g)	0,1180	0,1322	0,3848	0,4092

Kinetic	Parameter	RHAC		TSAC	
		Fe(II)	Cu(II)	Fe(II)	Cu(II)
Elovich	R ²	0,3152	0,0757	0,6151	0,0190
	β (g/mg)	-31,25	18,1818	31,4465	-131,5789
	α (mg/g·min)	-5,7459x10 ⁻⁶	9,9966x10 ⁵	32,0342	-1,6717x10 ⁻²⁸
Bangham	R ²	0,2975	0,0701	0,6191	0,0218
	k ₃	0,3252	0,1074	0,2387	0,4521
	ϑ	-0,2002	0,0402	0,0934	-0,0197
Webber-Morris	R ²	0,3053	0,0881	0,6343	0,0199
	k ₄	-0,0093	0,0018	0,0096	-0,0023
	B	0,2189	0,1133	0,2743	0,4361



Gambar 3. Plot pemodelan kinetika adsorpsi ion Fe(II)/Cu(II) menggunakan RHAC dan TSAC: (a) Orde 0; (b) Orde 1; (c) Pseudo Orde 2; (d) Elovich; (e) Bangham; dan (f) Webber-Morris

Selektivitas Adsorpsi Ion Fe(II)/Cu(II)

Berdasarkan karakter gugus fungsional dan permukaan karbon aktif RHAC dan TSAC yang diperoleh lalu dilakukan kajian selektivitas adsorpsi ion Fe(II)/Cu(II) menggunakan karbon aktif RHAC dan TSAC (Tabel 3 dan Gambar 4).

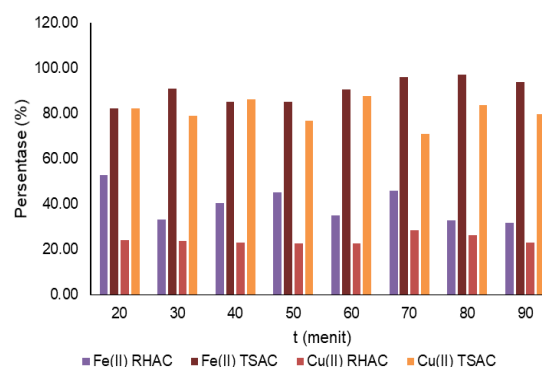
Karbon aktif RHAC mampu menyerap ion Fe(II) dan Cu(II) dengan nilai persentase tertinggi masing-masing yaitu 52,80% ($t = 20$ menit) dan 28,35% ($t = 70$ menit). Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa karbon aktif RHAC lebih selektif dalam menyerap ion Fe(II) dibandingkan ion Cu(II). Hasil serupa juga diperoleh pada adsorpsi ion Fe(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif TSAC dimana nilai persentase tertinggi pada masing-masing ion adalah 97,34% ($t = 80$ menit) dan 87,82% ($t = 60$ menit). Dengan demikian, karbon aktif TSAC juga lebih selektif untuk menyerap ion Fe(II) dibandingkan Cu(II).

Tabel 3. Persentase adsorpsi ion Fe(II)/Cu(II)

Waktu (menit)	%Adsorpsi			
	Fe(II)		Cu(II)	
	RHAC	TSAC	RHAC	TSAC
20	52,80	82,25	24,18	82,27
30	33,30	91,08	23,79	78,90
40	40,42	85,38	22,99	86,23
50	45,40	85,38	22,80	76,72
60	35,15	90,65	22,80	87,82
70	45,82	96,20	28,35	70,97
80	32,73	97,34	26,17	83,85
90	31,73	93,92	23,19	79,89

Berdasarkan nilai persentase yang diperoleh pada adsorpsi ion Fe(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif RHAC dan TSAC, dapat diketahui bahwa karbon aktif TSAC lebih selektif dalam menyerap ion Fe(II) dan Cu(II) dibandingkan karbon aktif RHAC. Hasil ini merupakan konfirmasi dari hasil pemodelan

kinetika adsorpsi dimana nilai kapasitas adsorpsi karbon aktif TSAC lebih besar dibandingkan karbon aktif RHAC. Di sisi lain, kapasitas adsorpsi karbon aktif RHAC yang lebih rendah dapat terjadi karena adanya unsur lainnya seperti Natrium (Na) dan Silikon (Si) sesuai hasil EDX (Tabel 1).



Gambar 4. Perbandingan persentase kapasitas adsorpsi ion Fe(II)/Cu(II) menggunakan RHAC dan TSAC

KESIMPULAN

Proses adsorpsi ion Fe(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif RHAC dan TSAC mengikuti pemodelan kinetika PSO dengan nilai R^2 berturut-turut adalah 0,9221 dan 0,9565 pada RHAC serta 0,9915 dan 0,97 pada TSAC. Karbon aktif TSAC lebih selektif menyerap ion Fe(II) dan Cu(II) dibandingkan karbon aktif RHAC dengan %adsorpsi mencapai 97,34% dan 87,82%, berturut-turut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana atas bantuan pendanaan penelitian meliputi pembelian bahan kimia (*reagent*) dan analisis material karbon aktif RHAC/TSAC melalui Skema Hibah Penelitian Fundamental Tahun Anggaran 2023 (No. Kontrak: 055/SPK-PF/RIK/7/2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Akhsanti, R. Y., Lusiana, R. A., & Khabibi, K. (2010). Pemanfaatan Karbon Aktif Serbuk Gergaji Kayu Jati untuk Menurunkan Chemical Oxygen Demand (COD) Limbah Cair Industri Tekstil. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 13(2), 66–70. <https://doi.org/10.14710/jksa.13.2.66-70>
- Bello, O. S., Bello, I. A., & Adegoke, K. A. (2013). Adsorption of Dyes Using Different Types of Sand: A Review. *Sabinet African Journals*, 66, 117–129. <https://doi.org/10.10520/EJC134491>
- Cherono, F., Mburu, N., & Kakoi, B. (2021). Adsorption of lead, copper and zinc in a multi-metal aqueous solution by waste rubber tires for the design of single batch adsorber. *Heliyon*, 7(11), e08254. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E08254>
- Chikri, R., Elhadiri, N., Benchanaa, M., & Elmaguana, Y. (2020). Efficiency of sawdust as low-cost adsorbent for dyes removal. *Journal of Chemistry*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8813420>
- Demiral, H., & Güngör, C. (2016). Adsorption of copper(II) from aqueous solutions on activated carbon prepared from grape bagasse. *Journal of Cleaner Production*, 124, 103–113. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.084>
- Dong, C., Zhang, F., Pang, Z., & Yang, G. (2016). Efficient and selective adsorption of multi-metal ions using sulfonated cellulose as adsorbent. *Carbohydrate Polymers*, 151, 230–236. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.05.066>
- Erawati, E., & Helmy, E. R. (2018). Pembuatan Karbon Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis* L.f.) (Suhu dan Waktu Karbonasi). *Urecol (University Research Colloquium)*, 105–112.
- FitzPatrick, M., Champagne, P., Cunningham, M. F., & Whitney, R. A. (2010). A biorefinery processing perspective: Treatment of lignocellulosic materials for the production of value-added products. *Bioresource Technology*, 101(23), 8915–8922. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2010.06.125>
- Hananto, F. T., Riyanto, C. A., & Aminu, N. A. (2022). Pengaruh Metode Pre-Aktivasi dan Rasio Impregnasi Asam Fosfat terhadap Karakteristik Karbon Aktif Sekam Padi. Universitas Kristen Satya Wacana.
- Ho, Y. S. (2006). Second-order kinetic model for the sorption of cadmium onto tree fern: A comparison of linear and non-linear methods. *Water Research*, 40(1), 119–125. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2005.10.040>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- Kul, A. R., Koyuncu, H., Turan, A., & Aldemir, A. (2023). Comparative Research of Isotherm, Kinetic, and Thermodynamic Studies for Neutral Red Adsorption by Activated Carbon Prepared from Apple Peel. *Water, Air, and Soil Pollution*, 234(6), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06392-8>
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., & Purbaningtyas, T. E. (2016). Kinetic study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *Eksakta*, 13(1–2), 11–21. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol13.is.s1-2.art2>
- Largitte, L., & Pasquier, R. (2016). A review of the kinetics adsorption models and their application to the adsorption of lead by an activated carbon. *Chemical Engineering Research and Design*, 109, 495–504. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.02.006>
- Luo, Y., Li, D., Sun, X., Cao, Q., & Liu, X. (2018). The Performance of Phosphoric Acid in the Preparation of Activated Carbon-containing Phosphorus Species from Rice Husk Residue. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-03220-x>
- Madhubashani, A. M. P., Giannakoudakis, D. A., Amarasinghe, B. M. W. P. K., Rajapaksha, A. U., Pradeep Kumara, P. B. T., Triantafyllidis, K. S., & Vithanage, M. (2021). Propensity and appraisal of biochar performance in removal of oil spills: A comprehensive review. *Environmental Pollution*, 288, 117676. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117676>

- Maneechakr, P., & Karnjanakom, S. (2017). Adsorption behaviour of Fe(II) and Cr(VI) on activated carbon: Surface chemistry, isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 106, 104–112. <https://doi.org/10.1016/J.JCT.2016.11.021>
- Maulana, L. F., Imami Ghozali, H., Fikri, M. H., Agustina, E. I., & Ali, M. (2020). Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Didesa Ranjok Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat Menjadi Biomass Pellet Sebagai Sumber Energi Terbaru. *Jurnal PEPADU*, 1(1), 133–138.
- Medhi, H., Chowdhury, P. R., Baruah, P. D., & Bhattacharyya, K. G. (2020). Kinetics of Aqueous Cu(II) Biosorption onto *Thevetia peruviana* Leaf Powder. *ACS Omega*, 5(23), 13489–13502. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.9B04032/ASSET/IMAGES/MEDIUM/AO9B04032_M024.GIF
- Mistry, B. D. (2009). *A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry (UV, IR, PMR, 13CNMR and Mass Spectroscopy)* (V.-(Gujarat) B.K.M. Science College (ed.); 2009th ed.). Oxford Book Company.
- Nurhasni, N., Firdiyono, F., & Sya'ban, Q. (2012). Penyerapan Ion Aluminium dan Besi dalam Larutan Sodium Silikat Menggunakan Karbon aktif. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(4). <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i4.269>
- Raji, Z., Karim, A., Karam, A., & Khalloufi, S. (2023). Adsorption of Heavy Metals: Mechanisms, Kinetics, and Applications of Various Adsorbents in Wastewater Remediation—A Review. *Waste 2023, Vol. 1, Pages 775-805*, 1(3), 775–805. <https://doi.org/10.3390/WASTE1030046>
- Riyanto, C. A., Kurniawan, E., & Aminu, N. R. (2021). Pengaruh NaOH dan Suhu Aktivasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Sekam Padi Teraktivasi H₃PO₄. *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*, 1(2), 59–68. <https://doi.org/10.33369/rjna.v1i2.16864>
- Riyanto, C. A., Pattiserlihan, A., Kurniawan, E., Andiani, B. Y., & 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(1), 020005. <https://doi.org/10.1063/5.0103325>
- Riyanto, C. A., & Prabalaras, E. (2019). The Adsorption Kinetics and Isotherm of Activated Carbon from Water Hyacinth Leaves (*Eichhornia crassipes*) on Co(II). *Journal of Physics: Conference Series*, 1307(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012002>
- Riyanto, C. A., Raharjianti, B. M., & Aminu, N. R. (2021). Studi Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Ion Fe (III) dan Mn (II) pada Karbon Aktif Batang Eceng Gondok. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(1), 44–55. <https://doi.org/10.26578/JRTI.V15I1.6633>
- Saha, B., Tai, M. H., & Streat, M. (2003). Adsorption of Transition Metals from Aqueous Solutions by Modified Activated Carbons. *Chemical Engineering Research and Design*, 81(10), 1343–1353. <https://doi.org/10.1205/026387603771339555>
- Sahoo, T. R., & Prelot, B. (2020). Adsorption processes for the removal of contaminants from wastewater: the perspective role of nanomaterials and nanotechnology. *Nanomaterials for the Detection and Removal of Wastewater Pollutants*, 161–222. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818489-9.00007-4>
- Sanka, P. M., Rwiza, M. J., & Mtei, K. M. (2020). Removal of Selected Heavy Metal Ions from Industrial Wastewater Using Rice and Corn Husk Biochar. *Water, Air, & Soil Pollution 2020 231:5*, 231(5), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S11270-020-04624-9>
- Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2003). *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*.
- Singha, A. S., & Guleria, A. (2014). Chemical modification of cellulosic biopolymer and its use in removal of heavy metal ions from wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 409–417. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2014.03.046>
- Tan, K. L., & 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>
- Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption kinetic

- models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390(November 2019), 122156. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.12.2156>
- Xiao, H., Peng, H., Deng, S., Yang, X., Zhang, Y., & Li, Y. (2012). Preparation of activated carbon from edible fungi residue by microwave assisted K₂CO₃ activation—Application in reactive black 5 adsorption from aqueous solution. *Bioresource Technology*, 111, 127–133. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.02.054>
- Yin, Y., Yin, H., Wu, Z., Qi, C., Tian, H., Zhang, W., & Hu, Z. (2019). *Si Content Using Combined Second-Derivative*. 1–12.
- Zhang, Y., Pan, K., & Zhong, Q. (2013). Characteristics of Activated Carbon and Carbon Nanotubes as Adsorbents To Remove Annatto (Norbixin) in Cheese Whey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(38), 9230–9240. <https://doi.org/10.1021/jf402537y>