

# STUDI ISOTERM DAN KINETIKA ADSORPSI PADA PENYISIHAN BUANGAN AKHIR POME MENGUNAKAN *MAGNETIC BIOCHAR* SEBAGAI ADSORBEN

## *STUDY OF KINETICS AND ADSORPTION ISOTHERM MODELLING OF POME FINAL DISCHARGE USING MAGNETIC BIOCHAR AS ADSORBENT*

Kesni Savitri<sup>1\*</sup>, David Andrio<sup>2</sup>, and Zuchra Helwani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Universitas Riau, Jalan binawidya,  
Pekanbaru, Riau 28291, Indonesia

\*Email corresponding: kesnisavitri88@gmail.com

<sup>2</sup>Department of Environment Engineering, Universitas Riau, Indonesia  
Email: davidandrio@lecturer.unri.ac.id

<sup>3</sup>Department of Chemical Engineering, Universitas Riau, Indonesia  
Email corresponding: zuchrahelwani@lecturer.unri.ac.id

**Cara sitasi** : K. Savitri, D. Andrio, Z. Helwani, "Studi isoterm dan kinetika adsorpsi pada penyisihan buangan akhir pome menggunakan magnetic biochar sebagai adsorben", *Kurvatek*, vol. 7, no. 2 (*Special Issue*), pp. 55 - 62, 2022, doi: 10.33579/krvtk.v7i2.3210 [Online].

**Abstrak**— Penelitian tentang pemodelan kinetika dan isoterm adsorpsi pelepasan akhir POME menggunakan biochar magnetik dari pelepah sawit untuk menghilangkan COD, TSS dan warna telah dilakukan. Sintesis, karakterisasi dan uji adsorpsi magnetik biochar telah berhasil dilakukan. *Magnetic biochar* dibuat dengan cara impregnasi pelepah sawit menggunakan  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  selama 3 jam dan pirolisis menggunakan reaktor fixed bed horizontal dengan laju alir  $N_2$  0,2 l/menit pada suhu  $550^\circ C$  selama 20 menit. Data adsorpsi COD, TSS dan Warna dideskripsikan dengan baik oleh isoterm Langmuir dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9869; 0,9795; 0,9972. Model kinetika digambarkan dengan model orde dua semu dengan nilai  $R^2$  0,9789; 0,9942; 0,9550. Berdasarkan hasil model isoterm dan kinetika COD, TSS dan warna, adsorpsi terjadi karena adanya ikatan kimia dengan adanya monolayer adsorbat pada permukaan *magnetic biochar*.

**Kata kunci**: POME, adsorpsi, pelepah sawit, *magnetic biochar*

**Abstract** — Research on kinetics and adsorption isotherm modelling of POME final discharge using magnetic biochar from palm fronds to remove COD, TSS and color has been performed. The synthesis, characterization and magnetic adsorption test of biochar have been successfully carried out. *Magnetic biochar* is made by impregnating palm fronds using  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  for 3 hours and pyrolysis using horizontal fixed bed reactor with 0,2 l/minute  $N_2$  flow rate at  $550^\circ C$  for 20 minutes. The adsorption data of COD, TSS and Color were described well by the Langmuir isotherm with  $R^2$  value of 0,9869; 0,9795; 0,9972. The kinetics model were described by the pseudo-second-order model with a  $R^2$  value 0,9789; 0,9942; 0,9550. Based on the results of the isotherm model and kinetics of COD, TSS and color adsorption, occurred due to chemical bonds in the presence of monolayer adsorbate on the surface of *magnetic biochar*.

**Keywords**: POME, adsorption, palm fronds, *magnetic biochar*

### I. PENDAHULUAN

Proses ekstraksi minyak sawit membutuhkan 5 – 7,5 ton air untuk memproduksi 1 ton minyak sawit, dimana lebih dari 50% akan menjadi limbah cair atau palm oil mill effluent (POME) [1]. Kandungan dari POME adalah air (95-96%), minyak (0,6-0,7%), total padatan sebesar 4-5% dan memiliki kandungan organik yang tinggi yaitu COD sebanyak 57.000-60.400 mg/L dan TSS sebanyak 23.000-54.400 mg/L, serta komponen organik yang sulit diuraikan seperti asam lemak rantai panjang, lignin, dan tannin [2].

Pengolahan limbah POME yang paling banyak digunakan saat ini yaitu secara biologi menggunakan *stabilization pond* [3]. Proses biologi umumnya tidak feasible untuk konsentrasi COD rendah (< 350 mg/L)

sehingga untuk mengolah buangan akhir pengolahan POME diperlukan proses kimia-fisika, salah satunya adsorpsi menggunakan biochar yang dimodifikasi untuk menyisihkan COD, TSS dan warna air limbah. Biochar merupakan salah satu adsorben dalam proses adsorpsi yang menarik peneliti karena memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi untuk mengadsorpsi berbagai macam polutan pada air [4]. Pemanfaatan biochar dalam bentuk powder memiliki efisiensi penghilangan kontaminan yang tinggi namun sulit untuk dipisahkan dari air yang diolah. Dibutuhkan rekayasa untuk mempermudah pemisahan tersebut dan mencegah kontaminasi lanjutan [5].

Teknologi magnet dapat diterapkan dalam aplikasi lingkungan untuk membantu proses pemisahan. Penerapannya adalah dengan memodifikasi biochar dengan material magnet menghasilkan bahan komposit baru yang memiliki dua sifat yaitu sifat adsorpsi dan magnet [6]. Penggunaan material magnet dalam membantu proses pemisahan adsorben dalam air yaitu  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ /biochar berbahan baku kayu kapas [5], *magnetic biochar* berbahan baku tandan kosong sawit [7], kulit manggis [8], kulit kacang [9], tongkol jagung [10] dan jerami [11]. Penelitian sebelumnya diatas telah mampu menyisihkan arsenik dari badan air [5], pewarna organik methylene blue dan Orange G [12] dan menunjukkan kemampuan yang baik dalam penyisihan kontaminan senyawa organik. Pelepah sawit memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan *magnetic biochar* disebabkan mengandung lignoselulosa yang tinggi yaitu 50,33% selulosa, 23,18% hemiselulosa dan 21,7% lignin [13]. Selain itu ketersediaan dan keterlimpahan pelepah sawit sebagai bahan baku biochar menjadi salah satu dasar pemilihan bahan baku.

Studi kinetika dan isoterm adsorpsi merupakan hal sangat penting dalam dunia industri. Isoterm adsorpsi menggambarkan proses distribusi adsorbat sehingga data kapasitas adsorpsi dapat diperoleh. Sedangkan studi kinetika penting dalam menentukan laju adsorpsi penyisihan COD, TSS dan warna air limbah untuk mendesain proses adsorpsi di industri. Sejauh penelusuran literatur, penggunaan material magnet ( $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pada biochar untuk penyisihan buangan akhir POME belum dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model isoterm dan kinetika adsorpsi yang sesuai pada adsorpsi COD, TSS dan warna buangan akhir terhadap *magnetic biochar* berbahan baku pelepah sawit.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah Reaktor fixed bed horizontal, homogenizer, oven dan timbangan analitik. Pelepah sawit yang digunakan berasal dari perkebunan sawit di Universitas Riau,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  pro analitik (Merck), Aquades, magnet batang dan limbah buangan akhir POME dari PT. XYZ.

### B. Pembuatan *Magnetic biochar*

Pelepah sawit dipres menggunakan mesin pres, dibersihkan dan dicuci menggunakan aquadest, kemudian dijemur dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu  $105^\circ\text{C}$  guna menghilangkan kadar air sampai diperoleh berat konstan. Selanjutnya ukuran pelepah sawit dilakukan pengecilan hingga ukuran 100 mesh. Sebanyak 150 gram pelepah sawit diimpregnasi menggunakan logam  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan rasio impregnasi yakni 0,5 ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : biomassa) dalam 1000 ml gelas kimia. Pengadukan dilakukan menggunakan homogenizer dengan kecepatan 150 rpm pada temperatur  $30^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada temperatur  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam untuk proses kristalisasi logam pada permukaan pori pelepah sawit [7].

Tahap selanjutnya adalah pirolisis menggunakan reaktor fixed bed horizontal dengan laju alir  $\text{N}_2$  0,2 l/menit pada suhu  $550^\circ\text{C}$  selama 20 menit. Produk *magnetic biochar* (MB) yang diperoleh didinginkan secara natural dan dibilas menggunakan aquadest hingga pH netral. Kemudian dikeringkan menggunakan oven pada temperatur  $105^\circ\text{C}$  selama 3 jam.

### C. Percobaan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi

Percobaan isoterm adsorpsi dilakukan dengan memasukkan 200 mL buangan akhir POME ke dalam erlenmeyer 250 ml dengan pH 7,8. Variasi konsentrasi buangan akhir POME dilakukan pengenceran dengan akuades. Perbandingan larutan buangan akhir POME dengan akuades dilakukan dengan variasi yaitu 15%:85%, 30%:70%, 45%:55%, 60%:40% dan 90%:10%. Larutan dalam erlenmeyer ditambahkan 1,71 g *magnetic biochar*. Kemudian dikocok menggunakan shaker pada laju pengadukan 150 rpm [8]. Pemisahan antara MB dengan air limbah dilakukan menggunakan magnet dan selanjutnya dianalisis supernatannya menggunakan SM 5220 C, SNI SM 2540 C dan SM 2120 B untuk parameter COD, TSS dan warna.

Model isoterm yang diusulkan adalah isoterm Langmuir (1) dan Freundlich (2) [14].

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_e C_e} \quad (1)$$

$$\text{Log } q_e = \text{Log } K_f + \frac{1}{n} \text{Log } C_e \quad (2)$$

dimana,  $q_e$  = jumlah adsorbat yang teradsorpsi per massa adsorben (mg/g);  $C_p$  = konsentrasi kesetimbangan adsorbat setelah adsorpsi (mg/l);  $K_L$  = konstanta kesetimbangan Langmuir;  $K_f$  = konstanta kesetimbangan Freundlich dan  $q_m$  = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g).

Percobaan kinetika dilakukan dengan memasukkan 200 mL buangan akhir POME ke dalam erlenmeyer 250 ml dengan pH 7,8 dan kemudian ditambahkan 1,71 gram *magnetic biochar*. Kemudian dikocok menggunakan shaker pada laju pengadukan 150 rpm selama waktu kontak 0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180 dan 240 menit. Pemisahan antara MB dengan air limbah dilakukan menggunakan magnet dan selanjutnya dianalisis supernatan menggunakan SM 5220 C, SNI SM 2540 C dan SM 2120 B untuk parameter COD, TSS dan warna.

Data kinetika kemudian diolah dengan model kinetika Pseudo orde satu [14] dan Pseudo orde dua [15] dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log } q_e - q_t = \text{Log } q_e - k_1 t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

dimana  $k_1$  = konstanta pseudo first-order ( $\text{minute}^{-1}$ );  $k_2$  = konstanta pseudo-second order ( $\text{g/mg} \cdot \text{menit}$ );  $q_1$  = jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada waktu  $t$  (mg/g).

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Karakteristik Awal Buangan Akhir Pengolahan POME

Karakteristik buangan akhir pengolahan POME dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi COD dan TSS dan warna masih diatas baku mutu jika akan dimanfaatkan sebagai sumber air baku proses industri.

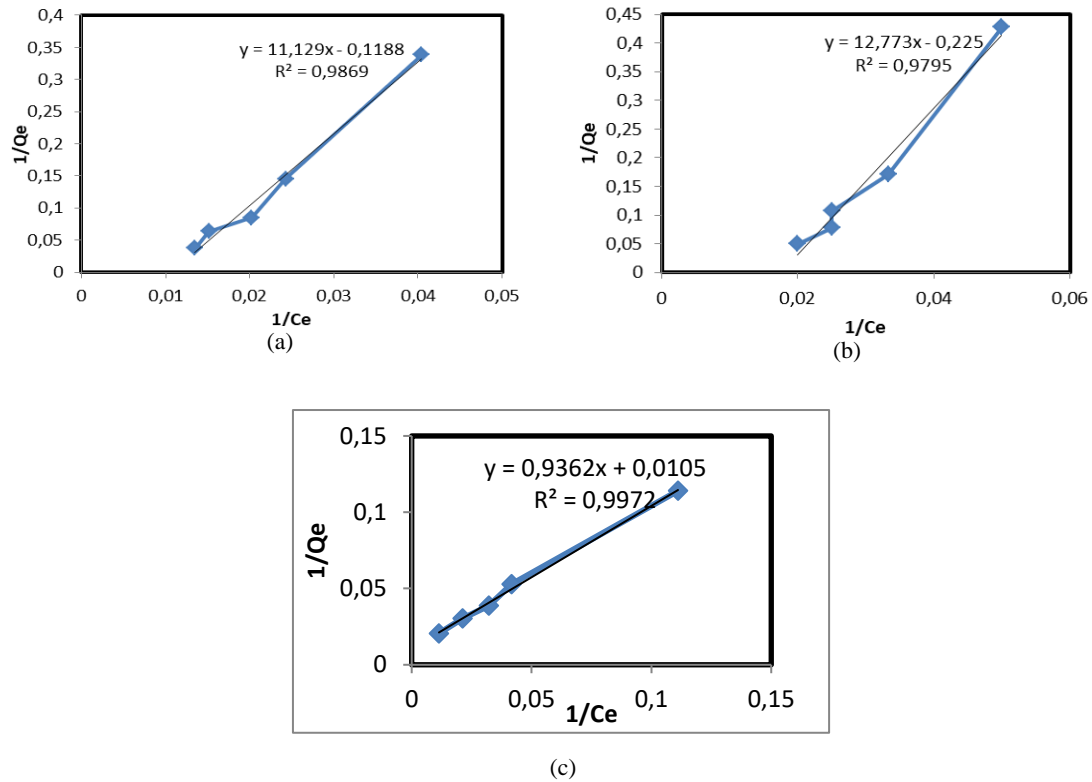
**Tabel 1.** Karakteristik buangan akhir POME

Parameter	Penelitian	Baku Mutu Limbah [16]	Baku Mutu air [17]	unit
pH	7,8	6-9	6-9	-
COD	348	350	40	mg/l
TSS	220	250	100	mg/l
Color	558*	-	100	PtCo

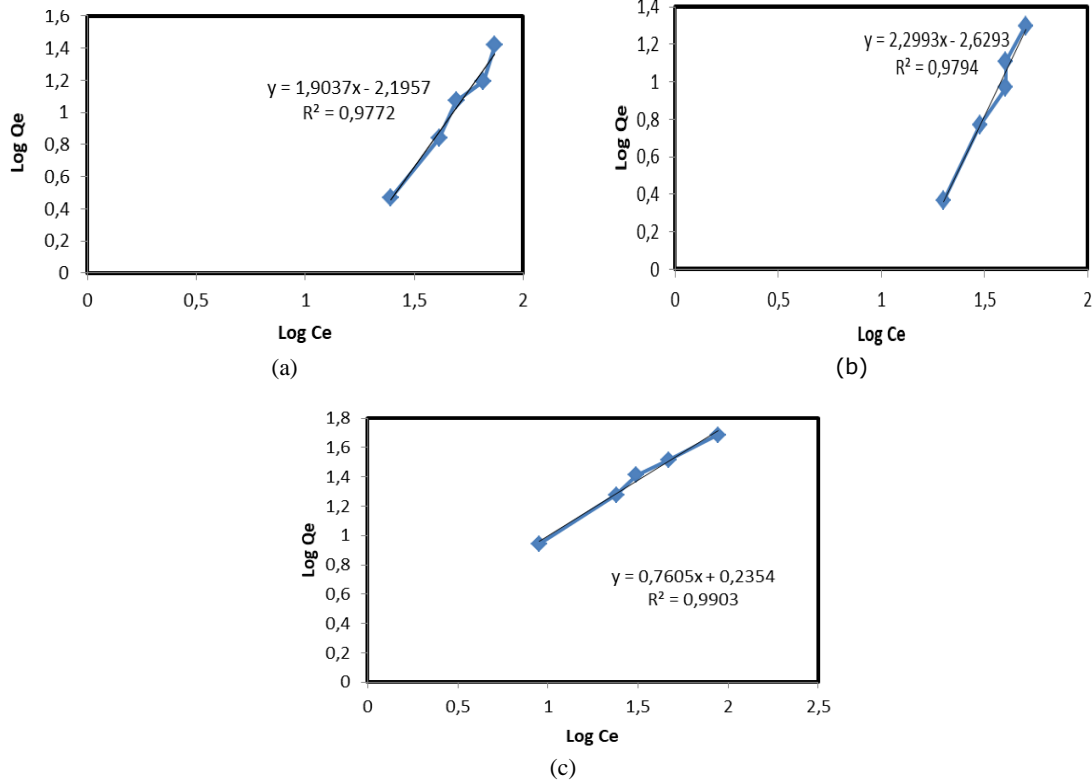
Sumber : \* Hasil uji UPT laboratorium Bahan Kontruksi, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, Pekanbaru, 2022

#### B. Isoterm Adsorpsi

Perubahan konsentrasi adsorbat oleh proses adsorpsi sesuai dengan mekanisme adsorpsinya dapat dipelajari melalui penentuan isoterm adsorpsi. Penentuan isoterm Langmuir dan Freundlich disalurkan menjadi kurva kesetimbangan garis lurus yang model kesetimbangannya bergantung pada koefisien regresi yang paling tinggi [18]. isoterm adsorpsi langmuir dan Freundlich pada *magnetic biochar* terhadap penyisihan COD, TSS dan warna dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



**Gambar 1.** Kurva isoterm Adsorpsi Langmuir (a) COD Total (b) TSS dan (c) warna buangan akhir POME menggunakan *Magnetic biochar*



**Gambar 2.** Kurva isoterm Adsorpsi *Freundlich* (a) COD Total (b) TSS dan (c) warna buangan akhir POME menggunakan *Magnetic biochar*

**Tabel 2.** Parameter isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich terhadap COD Total , TSS dan Warna menggunakan *Magnetic biochar*

Adsorption isotherm	Parameter (mg/l)		
	COD total	TSS	Color
Langmuir			
q <sub>m</sub> (mg/g)	8,41	4,44	95,23
K <sub>L</sub> (mg <sup>-1</sup> )	0,01	0,0176	0,0112
R <sup>2</sup>	0,9869	0,9795	0,9972
Freundlich			
n	0,624	0,4349	1,3149
K <sub>f</sub> (mg <sup>-1</sup> )	0,0216	0,0023	1,7195
R <sup>2</sup>	0,9422	0,9794	0,9903

Berdasarkan nilai regresi R<sup>2</sup> isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich terhadap penyisihan COD total, TSS dan warna buangan akhir POME yang ditampilkan pada Tabel 2, kedua model isoterm adsorpsi ini memiliki nilai R<sup>2</sup> yang hampir sama, yaitu mendekati satu. Namun, dari kedua model isoterm adsorpsi terhadap penyisihan COD total, TSS dan warna buangan akhir POME tersebut nilai R<sup>2</sup> yang paling mendekati satu adalah model isoterm Langmuir.

Dengan begitu proses adsorpsi COD total, TSS dan warna oleh *magnetic biochar* sesuai dengan model kesetimbangan isoterm Langmuir. Diasumsikan bahwa terbentuknya lapisan monolayer dari molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben yang bersifat homogen dan berlangsung secara kimia. Situs aktif pada permukaan adsorben yang bersifat homogen dimana satu molekul limbah POME menempati satu situs aktif dan tidak ada lagi penyerapan atau adsorpsi lanjut yang dapat terjadi pada situs tersebut.

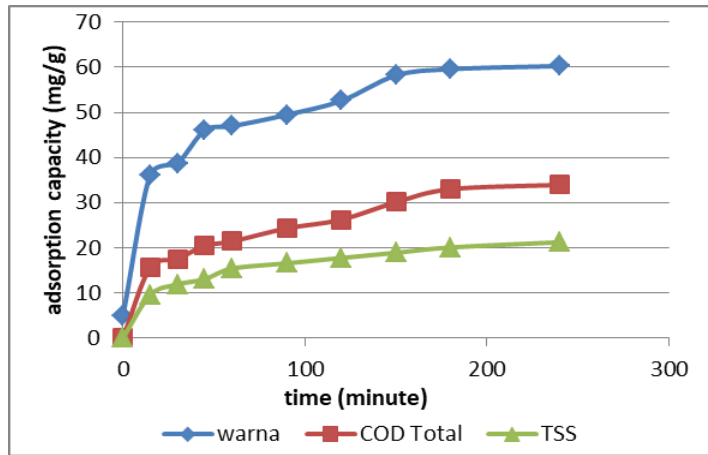
Saat keadaan situs adsorpsi belum mengalami kejenuhan dengan adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat akan menaikkan jumlah zat teradsorpsi [19]. Menurut Sahara, dkk. (2018) pada isoterm Langmuir, proses adsorpsi terjadi karena pertukaran ion pada permukaan adsorben dan molekul adsorbat sangat mempengaruhi. Tabel 3 menunjukkan hasil model isoterm adsorpsi ini sesuai dengan penelitian Zhang dkk (2013), Mubarak dkk (2016) dan Ruthiraan dkk (2017) bahwa pola isoterm senyawa organik (As (v)), *methylene blue* dan *Orange-G* oleh *magnetic biochar* mengikuti pola isoterm adsorpsi Langmuir.

**Tabel 3.** Perbandingan isoterm adsorpsi berbahan baku biomassa yang berbeda untuk adsorpsi senyawa organik dan anorganik

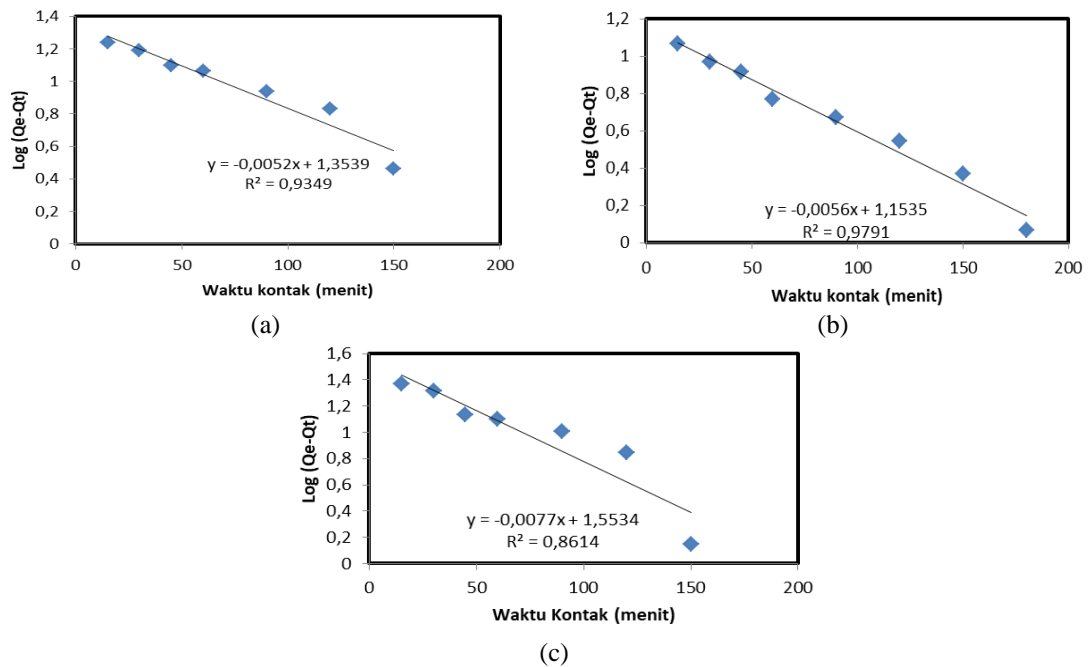
Adsorben	adsorbat	Kapasitas adsorpsi (mg/g)	adsorpsi Isoterm	peneliti
MB- kayu	As(v)	3,147	Langmuir	[5]
MB- tandan kosong sawit	Methylene blue , Orange-G	31,25	Langmuir	[12]
MB- cangkang sawit	Methylene blue	-	Langmuir	[8]
MB- pelepah sawit	Color POME	95,238	Langmuir	Penelitian ini

### C. Kinetika Adsorpsi

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan jumlah adsorbat (COD total, TSS dan warna) yang teradsorpsi terhadap waktu kontak. Uji adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu kontak 0 sampai 240 menit. Untuk ketiga adsorbat, waktu keseimbangan diperoleh pada 150 menit. Penentuan waktu keseimbangan dibutuhkan dalam persamaan model kinetika. Pengetahuan model kinetika adsorpsi yang paling umum diterapkan dalam studi adsorpsi zat organik adalah pseudo orde pertama dan pseudo orde kedua. Linearitas kinetika adsorpsi COD total, TSS dan warna dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Parameter kinetika adsorpsi Pseudo Orde Pertama dan Pseudo Orde Kedua terhadap COD Total , TSS dan warna menggunakan *magnetic biochar* dapat dilihat pada Tabel 4.



**Gambar 3.** Pengaruh waktu kontak kapasitas adsorpsi COD, TSS and color pada buangan akhir POME



**Gambar 4.** Linearitas kinetika adsorpsi Pseudo Orde pertama terhadap (a) COD Total, (b) TSS dan (c) warna buangan akhir POME

**Tabel 4.** Parameter kinetik adsorpsi Pseudo Orde Pertama dan Pseudo Orde Kedua terhadap COD Total, TSS dan Warna menggunakan *Magnetic biochar*

Adsorption Kinetik	Parameter (mg/l)		
	COD total	TSS	color
First Order Pseudo			
$Q_e$ (mg/g)	22,5891	14,2396	35,7602
$K_1$ (mg <sup>-1</sup> )	0,01197	0,01289	0,0177
$R^2$	0,9349	0,9791	0,8614
Second Order Pseudo			
$Q_e$ (mg/g)	38,6100	23,4192	64,935
$K_2$ (mg <sup>-1</sup> )	0,000648	0,001354	0,9942
$R^2$	0,9789	0,9942	0,9550

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan untuk model kinetika adsorpsi *magnetic biochar* bahwa adsorpsi COD total, TSS dan warna mengikuti pseudo orde kedua yang menunjukkan nilai kolerasi ( $R^2$ ) yang paling menunjukkan mendekati angka satu. Kinetika adsorpsi pseudo orde kedua menggambarkan reaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat identik dengan reaksi kimia atau melibatkan reaksi kimia [20]. Proses interaksi secara kemisorpsi melibatkan kekuatan valensi untuk pertukaran electron [21].

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, model isoterm mengikuti isoterm langmuir untuk menggambarkan adsorpsi COD, TSS dan warna buangan akhir POME terhadap *magnetic biochar* berbahan baku pelepah sawit. Kinetika adsorpsi mengikuti kinetika Pseudo Orde 2 yang menandakan interaksi terjadi secara kemisorpsi melibatkan kekuatan valensi untuk pertukaran electron.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Munandar, S. Muhammad, dan S. Mulyati, "Penyisihan COD dari limbah cair kelapa sawit menggunakan nano karbon aktif," *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, vol. 11 No.1, 24 – 31, 2016.
- [2] Shintawati, U. Hasanudin, and A. Haryanto, "Karakteristik pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dalam bioreaktor cigar semi kontinu," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 6, no. 2, 81-88, 2017.
- [3] N. H. Zainal, N. F. Jalani, R. Mamat, and A. A. Astimar, "A review on the development of palm oil mill effluent (pome) final discharge polishing treatments," *Journal of Palm Research*, vol. 29, no.4, 528-540, 2017.
- [4] Y. Deng, T. Zhang, and Q. Wang, "Biochar adsorption treatment for typical pollutants removal in livestock wastewater: a review," *Intech*, 72-82, 2017.
- [5] M. Zhang, G. Bin, V. Sima, H. Arthur, Y. Ying, dan I. Mandu, "Preparation and Characterization of A Novel *Magnetic biochar* for Arsenic Removal," *Bioresource Technology*, vol. 130, 457-462, 2013.
- [6] A. Fisli, D. S. Rahma, Nurhasni, and Deswita, "Analisis struktur dan porositas komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-karbon aktif dari limbah kertas sebagai adsorben magnetik," *J. sains materi indonesia*, vol. 19, 179-187, 2018.
- [7] N. M. Mubarak, A. Kundu, J. N. Sahu, E. C. Abdullah, and N. S. Jayakumar, "Synthesis of palm oil empty fruit bunch magnetic pyrolytic char impregnating with FeCl<sub>3</sub> by microwave heating technique," *Biomass and Bioenergy*, vol. 61, 265-275, 2014.
- [8] M. Ruthiraan, E. C. Abdullah., N. M. Mubarak, dan M. N. Norainia, "A promising route of magnetic based materials for removal of cadmium and methylene blue from waste water," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 5, 1447–1455, 2017.
- [9] Y. Han, X. Cao, X. Ouyang, S. Sohi, and J. Chen, "Adsorption kinetics of *magnetic biochar* derived from peanut hull on removal of Cr (VI) from aqueous solution: effects of production and particle size," *Chemosphere*, vol. 145, 336-341, 2016.
- [10] O. Xin, H. Yitong, C. Xi, and C. Jiawei, "*Magnetic biochar* combining adsorption and separation recycle for removal of chromium in aqueous solution," *Water Science and Technology*, vol. 75 No. 5, 1177–1184, 2016.
- [11] Z. Yin, Y. Liu, D. Liu, L. Jiang, X. Tan, G. Zeng, M. Li, S. Liu, S. Tan, and Y. Fang, "Activated *magnetic biochar* by one-step synthesis: Enhanced adsorption and coadsorption for 17 $\beta$ -estradiol and copper," *Science of the total environment*, vol. 639, 1530-1542, 2018.
- [12] N. M. Mubarak, Y. T. Fo, S. A. Hikmat, J. N. Sahu, E. C. Abdullah, S. Nizamuddin, N. S. Jayakumar, and P. Ganesan, "Removal of methylene blue and orange-g from waste water using *magnetic biochar*," *International Journal of Nanoscience*, vol. 14 No.1, 1-13, 2015.
- [13] S. H. Kong, S. K. Loh, R. T. Bachmann, S. A. Rahim, and J. Salimon, "Biochar from oil palm biomass: a review of its potential and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, 729–39, 2014.
- [14] Y. S. Ho, "Citation review of lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions," *Scientometrics*, vol. 59, no.1, 171- 177, 2004.

- [15] Ho, Y. ., & McKay, G. (1999). Model orde dua semu untuk proses sorpsi. *Proses Biokimia*, Vol 34 No. 5, 451–465
- [16] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- [17] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- [18] Sahara, E., Gayatri, P.S., dan Suarya, P. (2018) Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B dalam Larutan oleh Arang Aktif Batang Tanaman Gunitir Teraktivasi Asam Fosfat Cakra Kimia, *Indonesian E-Journal Of Applied Chemistry*, vol.6 No.1, 37-45.
- [19] Murthiasari, Mangallo, B., and Handyani, D. D. (2012). Model Isoterm Freundlich dan Langmuir oleh Adsorben Arang Aktif Bambu Andong (*G . verticillata*), *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, vol.2 No.1, 17–23.G.
- [20] Santi, L., 2018, Studi Model Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Bahan Organik Dalam Efluen IPAL Domestik Terhadap Powdered Activated Carbon (PAC) dengan Sistem Batch. Skripsi Teknik Lingkungan, Indonesia: Universitas Lambung Mangkurat
- [21] Pathania, D., Sharma, S., & Singh, P., 2017, Penghapusan metilen biru dengan adsorpsi ke karbon aktif yang dikembangkan dari kulit pohon *Ficus carica*, *Jurnal Kimia Arab*, vol. 10, S1445-S1451



©2022. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.