



## Pemanfaatan *Activated Spent Bleaching Earth* sebagai Adsorben untuk Menyisihkan Rhodamine-B: Studi Adsorpsi Secara Batch

Dewi Puji Rahayu, Ervin Nurhayati\*

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email Korespondensi: [ervin@enviro.its.ac.id](mailto:ervin@enviro.its.ac.id)

**Diterima:** 05 April 2023

**Disetujui:** 23 April 2023

**Diterbitkan:** 28 April 2023

### Kata Kunci:

Adsorben, Batch, Kapasitas Adsorpsi, Rhodamine B, Isotherm.

### ABSTRAK

*Spent Bleaching Earth* (SBE) merupakan material adsorben setelah digunakan untuk mengadsorpsi zat pengotor pada proses pemurnian minyak nabati. Produksi minyak secara terus menerus menyebabkan penumpukan SBE di landfill. Ekstraksi menggunakan pelarut n-heksana, merupakan metode yang umum digunakan untuk menghilangkan sisa minyak yang ada di dalam pori SBE. Pada penelitian ini dilakukan proses aktivasi SBE untuk memperbaiki struktur pori sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi material. Proses aktivasi menggunakan metode pengasaman dengan larutan HCl. Percobaan secara batch dilakukan untuk membandingkan kemampuan material SBE dan ASBE (SBE teraktivasi) dalam menyisihkan zat warna rhodamine B. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan material ASBE memiliki pori yang lebih halus dibandingkan SBE awal. Isotherm adsorpsi material SBE dan ASBE sesuai dengan model isotherm Langmuir, dengan kapasitas maksimum ( $q_m$ ) berturut-turut sebesar 344,8 mg/g dan 400 mg/g. Efisiensi removal tertinggi adsorben SBE mencapai 76,77 %, sementara pada adsorben ASBE sebesar 81,8%. Data percobaan sesuai dengan kinetika *pseudo second order*.

**Received:** 05 April 2023

**Accepted:** 23 April 2023

**Published:** 28 April 2023

### Keywords:

Adsorbent, Batch, Adsorption Capacity, Rhodamine B, Isotherm.

### ABSTRACT

*Spent Bleaching Earth* (SBE) is adsorbent that has been used to adsorb impurities in the oil production process. Continuous oil production caused accumulation of SBE in landfills. Extraction using n-hexane solvent is a commonly used method to remove residual oil in SBE pores. In this study, the activation process of *Spent Bleaching Earth* (SBE) was carried out to improve the pore structure in order to increase the adsorption ability of the material. The activation process utilised the acidification method with HCl solution. Batch experiments were conducted to compare the ability of SBE and ASBE (activated SBE) materials in removing rhodamine B dye. SEM analysis showed that ASBE material had a finer pore than original SBE. SBE and ASBE materials conformed to Langmuir isotherm, with maximum capacity ( $q_m$ ) of 344.8 mg/g and 400 mg/g, respectively. The highest removal efficiency of SBE adsorbent reached 76.77%, while that of ASBE adsorbent was 81.8%. The experimental data were in accordance with the *pseudo second order* kinetics.

## 1. PENDAHULUAN

*Spent Bleaching earth* (SBE) berasal dari material *bentonite clay* dan umum digunakan sebagai adsorben pada proses produksi minyak nabati (Hussin et al., 2011). Setelah digunakan sebagai adsorben SBE mengandung minyak sebesar 20-40% (Liu et al., 2021; Yulikasari et al., 2022). Pengelolaan konvensional pada limbah SBE dilakukan dengan penimbunan di *landfill* (Dijkstra, 2020). Namun pengelolaan SBE dengan metode ini memiliki resiko timbulnya bau akibat sisa zat organik dan potensi kebakaran akibat sisa asam lemak jenuh (Loh et al., 2013; Merikhy et al., 2019). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021, SBE dengan kandungan minyak di bawah 3% termasuk limbah non B3.

Dengan terjadinya perubahan peraturan, pemanfaatan SBE semakin banyak dilakukan. SBE dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus (Ashari et al., 2017), bahan baku pembuatan briket (Abdelbasir et al., 2023) serta adsorben untuk menghilangkan polutan dalam air limbah (Belhaine et al., 2016; Slamet et al., 2021; Yulikasari et al., 2022).

Rhodamine B merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarna pakaian, proses *printing* laser serta analisis optik (Al-Gheethi et al., 2022; Saigl, 2021). Rhodamine B memiliki rumus molekul  $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$  dengan pigmen merah cerah dan larut dalam air. Rhodamine B memiliki struktur kimiawi kompleks yang sulit didegradasi secara biologis (Inyinbor et al., 2016). Pencemaran rhodamine B dalam badan air berpotensi menyebabkan membahayakan ekosistem air dan

manusia, karena bersifat *toxic*, menyebabkan iritasi kulit serta gangguan pernafasan (Al-Buriah et al., 2022; Cuiping et al., 2011; Kandisa et al., 2016).

Adsorpsi merupakan metode separasi yang banyak digunakan untuk menyisihkan limbah zat warna. Pada proses adsorpsi zat yang diserap disebut adsorbat, sementara zat yang menyerap disebut adsorben (Ragadhita & Nandiyanto, 2021). Konsentrasi adsorbat, banyaknya adsorben, suhu dan pH pada zat (polutan) yang akan diolah merupakan faktor yang berpengaruh pada proses adsorpsi (Adeyemo et al., 2017; Kanawade, 2015). Untuk mengetahui interaksi antara adsorben dan adsorbat dapat dilakukan analisa isotherm adsorpsi. Model Langmuir dan Freundlich dapat digunakan sebagai pendekatan untuk menganalisis isotherm adsorpsi (Merikhy et al., 2019). Adsorben memegang perananan penting dalam proses adsorpsi. Adsorben yang baik memiliki karakteristik murah, tersedia dalam jumlah banyak, luas permukaan spesifik besar dan volume pori yang baik serta mudah terdesorpsi sehingga dapat digunakan kembali (Belhaine et al., 2016; Bonilla-Petriciolet et al., 2017; Merikhy et al., 2018). Pada penelitian ini SBE di aktivasi untuk memperbaiki struktur pori material sehingga dapat digunakan kembali sebagai adsorben untuk menyerap zat warna Rhodamine B.

## 2. METODE

### 2.1 Material

SBE yang digunakan berasal dari PT.Eco Oil Jaya Indonesia, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Material SBE dari perusahaan ini telah mengalami proses penghilangan minyak atau deoilisasi.

### 2.2 Pembuatan Larutan Rhodamine B

Pembuatan larutan rhodamine dilakukan dengan cara melarutkan padatan rhodamine B sebanyak 1 gram ke dalam 1000 mL aquades. Larutan standar yang telah homogen, kemudian diencerkan menjadi 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 mg/L menggunakan labu ukur.

### 2.3 Aktivasi SBE

Aktivasi material SBE dilakukan dengan metode maserasi. SBE direndam dengan pelarut n-heksana (b/v: 1/5) selama 4 jam untuk menghilangkan minyak yang tersisa. Kemudian dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada suhu 500 °C. berikutnya dilakukan penambahan CaCO<sub>3</sub> konsentrasi 0.1 M dan pemanasan dengan suhu 100°C selama 1 jam. SBE disaring dengan kertas saring ukuran 100 mesh. Proses aktivasi dilakukan dengan penambahan larutan HCl 2 M selama 24 jam. SBE yang telah diaktivasi berubah menjadi ASBE. Uji *Scanning Electron Microscopy* dilakukan untuk pada material SBE dan ASBE.

### 2.4 Proses Adsorpsi

Adsorpsi dilakukan dengan mengkontakkan larutan rhodamine B sebanyak 100 mL dan adsorben di dalam erlenmeyer. Proses batch dilakukan dengan shaker dengan kecepatan 250 rpm selama 2 jam. Adsorben yang digunakan berupa SBE dan ASBE sebanyak 0,5 gram. Konsentrasi larutan awal 30; 60; 90; 120; 150 dan 180 mg/L. Setelah proses adsorpsi batch dilakukan penyaringan sampel dengan *syringe*

*filter* berbahan nilon berukuran 0,45 mikron. Analisis warna dilakukan menggunakan spektrofotometer mengikuti hukum Lambert-Beer.

## 2.5 Kinetika Adsorpsi

Percobaan untuk mengetahui kinetika adsorpsi dilakukan pada rhodamine B dengan konsentrasi 60 mg/L. Material adsorben yang ditambahkan sebanyak 0,5 gram. Dilakukan proses adsorpsi *batch* dengan menggunakan *shaker*. Kondisi operasi yaitu kecepatan *shaker* 250 rpm lama operasi satu jam. waktu pengambilan sampel setiap 10 menit selama 1 jam.



Gambar 1. Proses Adsorpsi Secara Batch

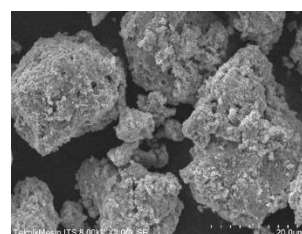
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Performa SBE dan ASBE sebagai adsorben .

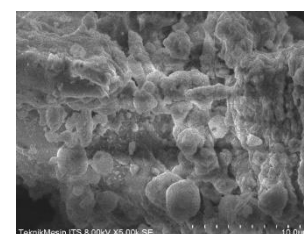
Prinsip adsorpsi sistem batch yaitu terjadinya perpindahan massa dari fasa cair (adsorbat) ke dalam pori (adsorben) hingga mencapai kondisi kesetimbangan (Bonilla-Petriciolet et al., 2017). Adsorpsi sistem batch dilakukan untuk memperkirakan kapasitas adsorpsi ASBE, kecepatan adsorpsi dan interaksi antara adsorben dengan adsorbat. Proses adsorpsi bergantung pada jumlah adsorbat yang terserap ke dalam adsorben ( $q_t$ ). Adapun perhitungan kapasitas adsorpsi dapat dilakukan menggunakan persamaan (1)

$$q_t = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,  $q_t$  adalah banyaknya adsorbat terserap per gram adsorben, (mg/g).  $C_0$  dan  $C_e$  yaitu konsentrasi sebelum dan setelah proses adsorpsi. (mg/L).,  $V$  merupakan volume larutan (L), sementara  $m$ , merujuk pada massa adsorben yang digunakan (g). Hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.

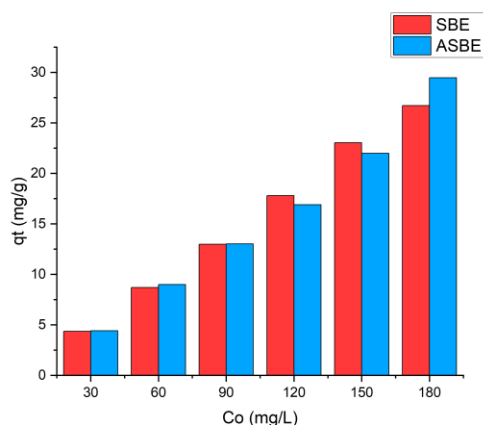


(a)



(b)

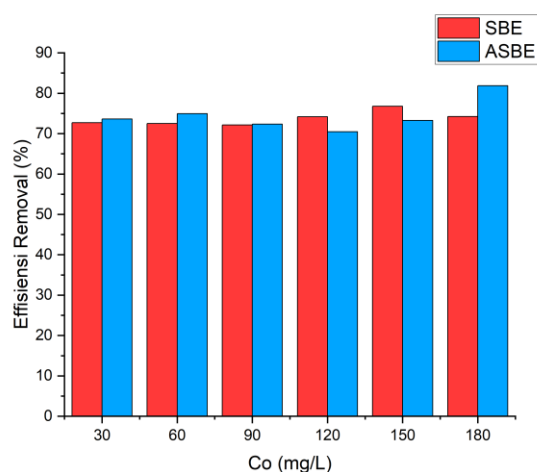
**Gambar 2.** Gambar SEM menunjukkan Morfologi SBE (a) dan ASBE(b)



**Gambar 3.** Pengaruh Konsentrasi Awal pada Kemampuan Adsorpsi SBE dan ASBE

Berdasarkan grafik nilai  $q_t$  ASBE lebih tinggi dibanding SBE kecuali pada konsentrasi awal 120 dan 150 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan menyerap ASBE lebih baik dibandingkan dengan SBE. Analisis morfologi SEM pada perbesaran 10.000 kali menunjukkan terjadi perubahan struktur pori ASBE lebih halus dan memiliki ruang kosong yang lebih banyak dibanding SBE (Gambar 2). Hal ini sejalan dengan penelitian (Merikhy et al., 2019), dimana material SBE hasil ekstraksi dengan pelarut n-heksana dan acetone digunakan untuk mengadsorpsi zat warna *methylene blue*.

Efisiensi penyisihan zat warna ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan grafik tidak terlihat perubahan signifikan pada saat terjadi peningkatan konsentrasi. Efisiensi penyisihan mulai menunjukkan peningkatan pada konsentrasi tertinggi (180 mg/L) yaitu sebesar 81,8%. Peningkatan efisiensi removal pada saat konsentrasi tinggi kemungkinan disebabkan oleh terjadinya peningkatan interaksi antara adsorben dan adsorbat pada situs adsorpsi (Shehab et al., 2019). SBE hasil regenerasi menggunakan pelarut organik menunjukkan efisiensi penyisihan lebih dari 75% untuk memisahkan zat warna *brllian cersyl blue* pada konsentrasi awal 2000 mg/L (Shehab et al., 2019). Material adsorben hasil daur ulang material yang telah diteliti untuk menyisihkan rhodamine B yaitu karbon aktif dari tanaman buah *raphia hookerie* memiliki efisiensi tertinggi sebesar 88,88% (Inyinbor et al., 2016).



**Gambar 4.** Pengaruh Konsentrasi Awal pada Kemampuan Adsorpsi SBE dan ASBE

### 3.2 Analisis Model Isotherm

Isotherm adsorpsi digunakan sebagai pendekatan untuk menghitung kapasitas adsorpsi dan interaksi antara adsorben dan adsorbat. Persamaan linear Freundlich dan Langmuir merupakan yang paling umum digunakan untuk menggambarkan isotherm adsorpsi. Isotherm Langmuir menggambarkan bahwa proses adsorpsi pada material SBE termasuk adsorpsi monolayer. Dimana setiap situs pada permukaan adsorben memiliki kemampuan untuk menyerap satu molekul adsorbat serta tidak ada interaksi antara molekul-molekul adsorbat (Nandiyanto et al., 2020). Adapun persamaan linier isotherm Langmuir dapat dilihat pada persamaan (3).

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_{max} K_L} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_{max}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana,  $q_{max}$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum saat adsorben jenuh (mg/g),  $K_L$  menunjukkan konstanta Langmuir. Sementara nilai  $q_e$  dan  $C_e$  merupakan jumlah kapasitas adsorpsi (mg/g) dan konsentrasi (mg/L) pada saat *equilibrium* (mg/L).

Sementara isotherm Freundlich menggambarkan proses adsorpsi terjadi pada permukaan yang heterogen, secara multilayer. Adapun persamaan (5) menunjukkan bentuk linier dari isotherm Freundlich.

$$q_t = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots(5)$$

Dimana,  $q_t$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum saat adsorben jenuh (mg/g),  $K_f$  merupakan konstanta Freundlich,  $1/n$  adalah faktor heterogenitas yang terkait dengan kapasitas dan intensitas adsorpsi sementara  $C_e$  yaitu Konsentrasi adsorbat pada saat *equilibrium* (mg/L).

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan Isotherm

Material	Co	Ce	Langmuir					
			Slope	Intercept	qmax	$K_L$	$q_e$	
SBE	30	8,195	0,515	0,0029	344,83	0,006	344,59	
	60	16,510					344,71	
	90	25,065					344,75	
	120	31,005					344,76	
	150	34,845					344,77	
	180	46,420					344,79	
ASBE	30	7,915	0,545	0,0025	400,00	0,005	399,73	
	60	15,044					399,86	
	90	24,864					399,91	
	120	35,466					399,94	
	150	40,095					399,95	
	180	32,675					399,93	
Material	Co	Ce	Freundlich					
			Slope	Intercept	Kf	n	1/n	
SBE	30	8,195	0,912	0,3485	8,166	0,381	2,621	
	60	16,510					3,494	0,286
	90	25,065					4,015	0,249
	120	31,005					4,280	0,234
	150	34,845					4,425	0,226
	180	46,420					4,783	0,209
ASBE	30	7,915	0,866	0,3809	7,355	2,578	0,388	
	60	15,044					3,378	0,296
	90	24,864					4,005	0,250
	120	35,466					4,447	0,225
	150	40,095					4,600	0,217
	180	32,675					4,345	0,230

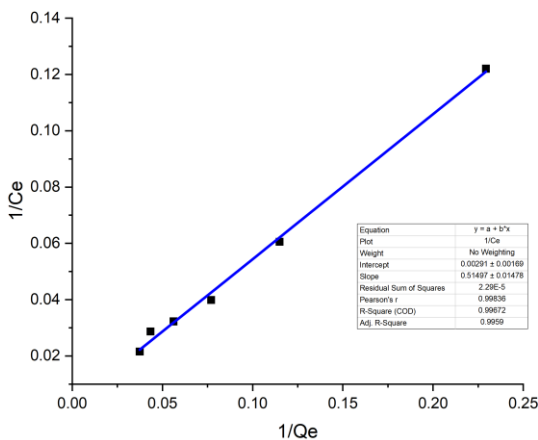
Hasil perhitungan isotherm ditunjukkan pada Tabel 1. Terlihat material ASBE memiliki kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_{max}$ ) yang lebih besar dibandingkan SBE. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil adsorpsi dengan karbon aktif dari buah *Raphia hookerie* yang memiliki nilai  $q_{max}$  sebesar 666,67 mg/g untuk menyisihkan rhodamine B. (Inyinbor et al., 2016). Penelitian lainnya menggunakan SBE yang diregenerasi menggunakan asam fosfat dan metode termal untuk menyisihkan zat warna *methylene blue* memiliki kapasitas adsorpsi berturut-turut sebesar 185,2 dan 188,7 mg/g (Belhaine et al., 2016). Kapasitas adsorpsi maksimum SBE untuk menyerap zat warna *methylene blue* mencapai 40,485 mg/g pada konsentrasi tinggi dan 7,993 mg/g pada konsentrasi rendah (Yulikasari et al., 2022).

**Tabel 2. Nilai RL Isotherm Langmuir**

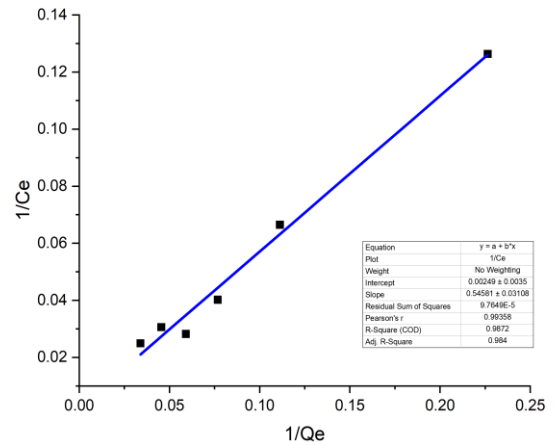
C0 (ppm)	SBE	ASBE
	RL	RL
30	0,956	0,976
60	0,915	0,952
90	0,876	0,932
120	0,851	0,913
150	0,836	0,890
180	0,792	0,858

Nilai penting lainnya pada isotherm Langmuir yaitu faktor separasi (RL). Hasil perhitungan nilai RL dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai RL pada adsorben SBE dan ASBE memiliki range 0,792 hingga 0,926. Nilai RL antara 0 hingga 1 menunjukkan proses adsorpsi berlangsung baik, sementara nilai RL kurang dari 1 menunjukkan proses adsorpsi berlangsung buruk (Shehab et al., 2019).

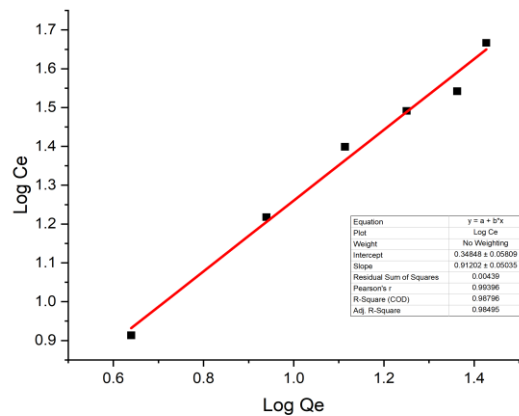
Berdasarkan perbandingan nilai koefisien korelasi pada material SBE dan ASBE, semua material lebih memiliki nilai  $r^2$  yang lebih tinggi pada persamaan Langmuir (Gambar 5 dan Gambar 6). Penelitian sebelumnya mengenai SBE atau produk regenerasi menunjukkan nilai  $r^2$  tertinggi untuk isotherm Langmuir (Abdelbasir et al., 2023; Merikhy et al., 2019; Tsai et al., 2005). Isotherm Langmuir menunjukkan distribusi penyerapan yang homogen untuk material zat warna pada setiap situs SBE dan ASBE (Yulikasari et al., 2022). Adsorpsi berlangsung secara monolayer, menunjukkan bahwa terjadi proses chemisorption, dimana proses adsorpsi terjadi akibat adanya transfer elektron antara rhodamine B (adsorbat) dan material SBE atau ASBE (adsorben).



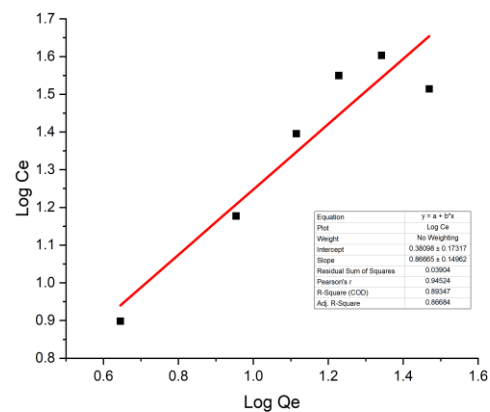
**Gambar 5. Isotherm Langmuir SBE**



**Gambar 6. Isotherm Langmuir ASBE**



**Gambar 7. Isotherm Freundlich SBE**



**Gambar 8. Isotherm Freundlich ASBE**

**3.3 Analisis Kinetika Adsorpsi**

Profil kinetika memberikan informasi mengenai laju adsorpsi, waktu kesetimbangan, dan efektivitas adsorben. Kinetika adsorpsi dievaluasi dengan menggunakan persamaan Lagergreen berupa model pseudo first orde dan *pseudo second order*. Persamaan linear pseudo first-order (6) dan *pseudo second order* (7) yaitu :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2,303} t \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots \dots \dots (7)$$

Dimana,  $k_1$  merupakan konstanta laju *pseudo-first order* ( $\text{jam}^{-1}$ ) sementara  $k_2$  konstanta laju *pseudo-second order* ( $\text{g} / (\text{mg}/\text{jam})$ ). Nilai  $q_e$ , menunjukkan kapasitas adsorpsi pada equilibrium ( $\text{mg}/\text{g}$ ) sementara  $q_t$  adalah kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  ( $\text{mg}/\text{g}$ )

Data adsorpsi digunakan untuk mencocokkan model kinetika. Plot untuk model *pseudo-first order* dan *pseudo-second order* ditunjukkan pada Gambar 9 hingga Gambar.12. Nilai parameter kinetika orde reaksi hasil perhitungan percobaan terangkum dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

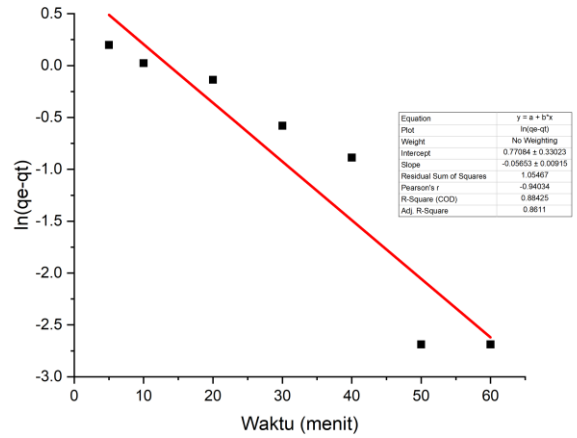
**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Kinetika Orde Reaksi SBE

Pseudo First					
Intercept	Slope	$q_e$ (mg/g)	$K_1$	$R^2$	
0,1385	-0,0074	1,1486	-0,0001	0,8380	
Pseudo Second					
Intercept	Slope	$q_e$ (mg/g)	$q_e^2$ (mg/g)	$K_2$	$R^2$
0,0600	0,114	8,75	76,53	0,218	0,99987

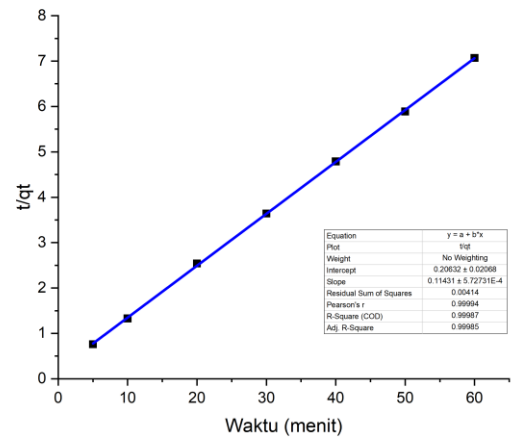
**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Kinetika Orde Reaksi ASBE

Pseudo First					
Intercept	Slope	$q_e$ (mg/g)	$K_1$	$R^2$	
-0,3181	-0,00475	0,727531	$-7,916 \times 10^{-5}$	0,4428	
Pseudo Second					
Intercept	Slope	$q_e$ (mg/g)	$q_e^2$ (mg/g)	$K_2$	$R^2$
0,008	0,111	8,98	80,58	1,655	0,9999

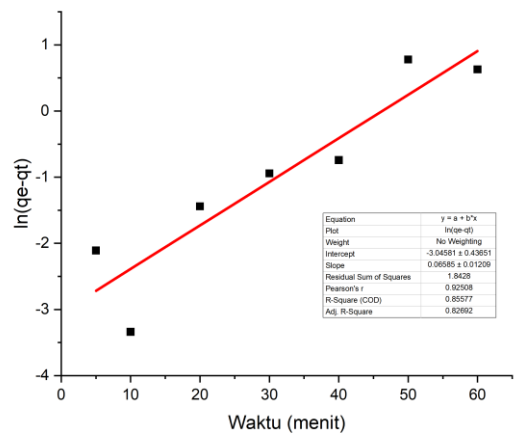
Berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $r^2$ ) dan konstanta laju reaksi ( $k_2$ ), model kinetik orde dua lebih tinggi dan lebih sesuai dengan data dibandingkan dengan model kinetika orde satu. Berdasarkan perhitungan kinetika *pseudo second order*, nilai kapasitas adsorpsi saat kondisi kesetimbangan atau equilibrium ( $q_e$ ) untuk rhodamine B dengan konsentrasi 60 mg/L yaitu sebesar 8,75 mg/g pada adsorben SBE, hasil ini mirip dengan  $q_e$  nilai pada percobaan yaitu sebesar 8,69 mg/g. Sebagian besar proses adsorpsi pada adsorben bleaching earth untuk menyerap zat warna menunjukkan kecocokan pada model *pseudo second order* (Abdelbasir et al., 2023; Merikhy et al., 2019; Shehab et al., 2019; Tsai et al., 2005). Model *pseudo second order* didasarkan pada asumsi bawa pembatas laju reaksi adalah adsorpsi kimiawi (Merikhy et al., 2019). Dalam kondisi ini, laju adsorpsi tergantung pada kapasitas adsorpsi bukan pada konsentrasi adsorbat (Sahoo & Prelot, 2020).



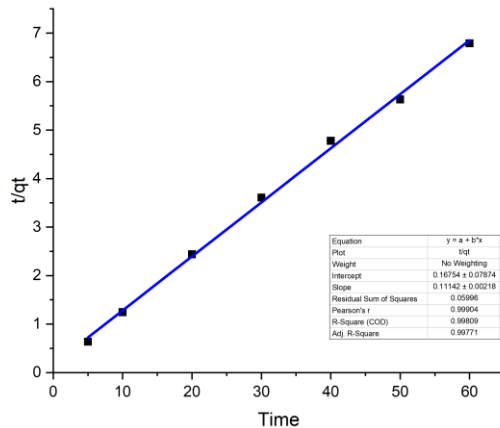
**Gambar 8.** Kinetika *Pseudo first order* SBE



**Gambar 9.** Kinetika *Pseudo second order* SBE



**Gambar 10.** Kinetika *Pseudo first order* ASBE



Gambar 11. Kinetika Pseudo second order SBE

#### 4. SIMPULAN

Hasil percobaan adsorpsi secara *batch* membuktikan material ASBE memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibanding material SBE. Hasil ini didukung dengan hasil analisis SEM yang menunjukkan morfologi ASBE lebih baik untuk proses adsorpsi, sementara konsentrasi awal tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan adsorpsi. Perbandingan koefisien korelasi pada model isotherm menunjukkan kesesuaian pada model Langmuir seperti pada penelitian lainnya mengenai ASBE. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_{max}$ ) pada adsorben ASBE memiliki hasil 55,17 mg/g lebih besar dibanding dengan SBE. Data percobaan sesuai dengan model kinetika *pseudo second order*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian yang didanai melalui skema pendanaan Penelitian Kompetitif Nasional-Penelitian Tesis Magister, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi tahun 2023.

#### DAFTAR PUSTAKA

Abdelbasir, S. M., Shehab, A. I., & Khalek, M. A. A. (2023). Spent bleaching earth; recycling and utilization techniques: A review. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 17(1), 2667-3789/. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200124>

Adeyemo, A. A., Adeoye, I. O., & Bello, O. S. (2017). Adsorption of dyes using different types of clay: a review. *Applied Water Science*, 7(2), 543-568. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0322-y>

Al-Buriahi, A. K., Al-Gheethi, A. A., Senthil Kumar, P., Radin Mohamed, R. M. S., Yusuf, H., Alsharif, A. F., & Khalifa, N. A. (2022). Elimination of rhodamine B from textile wastewater using nanoparticle photocatalysts: A review for sustainable approaches. *Chemosphere*, 287(August 2021), 287(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132162>

Al-Gheethi, A. A., Azhar, Q. M., Senthil Kumar, P., Yusuf, A. A., Al-Buriahi, A. K., Radin Mohamed, R. M. S., & Al-shaibani, M. M. (2022). Sustainable approaches for removing Rhodamine B dye using agricultural waste adsorbents: A review. *Chemosphere*, 287(July 2021). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132080>

Belhaine, A., Ghezzer, M. R., Abdelmalek, F., Tayebi, K., Ghomari, A., & Addou, A. (2016). Removal of methylene blue dye from water by a spent bleaching earth biosorbent. *Water Science and Technology*, 74(11), 2534-2540. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.407>

Bonilla-Petriciolet, A., Mendoza-Castillo, D. I., & Reynel-Ávila, H. E. (2017). Adsorption processes for water treatment and purification. In *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58136-1>

Cuiping, B., Xianfeng, X., Wenqi, G., Dexin, F., Mo, X., Zhongxue, G., & Nian, X. (2011). Removal of rhodamine B by ozone-based advanced oxidation process. *Desalination*, 278(1-3), 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.009>

Dijkstra, A. J. (2020). What to Do with Spent Bleaching Earth? A Review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 97(6), 565-575. <https://doi.org/10.1002/aocs.12358>

Hussin, F., Aroua, M. K., & Daud, W. M. A. W. (2011). Textural characteristics, surface chemistry and activation of bleaching earth: A review. *Chemical Engineering Journal*, 170(1), 90-106. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.065>

Inyinbor, A. A., Adekola, F. A., & Olatunji, G. A. (2016). Kinetics, isotherms and thermodynamic modeling of liquid phase adsorption of Rhodamine B dye onto *Raphia hookeri* fruit epicarp. *Water Resources and Industry*, 15, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.06.001>

Kanawade, D. M. (2015). Removal of heavy metals from wastewater using natural zeolites. *International Journal of Engineering Studies and Technical Approach*, 01(1), 30-38.

Kandisa, R. V., Saibaba KV, N., Shaik, K. B., & R, G. (2016). Dye Removal by Adsorption: A Review. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 07(06). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000371>

Liu, W., Yuan, K., Yin, K., Zuo, S., & Yao, C. (2021). Clay-activated carbon adsorbent obtained by activation of spent bleaching earth and its application for removing Pb(II) ion. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 711-723. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10473-0>

Loh, S. K., James, S., Ngatiman, M., Cheong, K. Y., Choo, Y. M., & Lim, W. S. (2013). Enhancement of palm oil refinery waste - Spent bleaching earth (SBE) into bio organic fertilizer and their effects on crop biomass growth. *Industrial Crops and Products*, 49, 775-781. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.016>

Merikhy, A., Heydari, A., Eskandari, H., & Nematollahzadeh, A. (2018). Revalorization of Spent Bleaching Earth a Waste from Vegetable Oil Refinery Plant by an Efficient Solvent Extraction System. *Waste and Biomass Valorization*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.1007/s12649->

- 018-0311-0
- Merikhy, A., Heydari, A., Eskandari, H., & Nematollahzadeh, A. (2019). Revalorization of Spent Bleaching Earth a Waste from Vegetable Oil Refinery Plant by an Efficient Solvent Extraction System. *Waste and Biomass Valorization*, 10(10), 3045–3055. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0311-0>
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Yunas, J. (2020). Adsorption isotherm of densed monoclinic tungsten trioxide nanoparticles. *Sains Malaysiana*, 49(12), 2881–2890. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4912-01>
- Ragadhita, R., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to calculate adsorption isotherms of particles using two-parameter monolayer adsorption models and equations. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 205–234. <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i1.32354>
- Sahoo, T. R., & Prelot, B. (2020). Adsorption processes for the removal of contaminants from wastewater: The perspective role of nanomaterials and nanotechnology. In *Nanomaterials for the Detection and Removal of Wastewater Pollutants*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818489-9.00007-4>
- Saigl, Z. M. (2021). Various adsorbents for removal of rhodamine b dye: A review. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(4), 1039–1056. <https://doi.org/10.22146/ijc.62863>
- Shehab, A., Abdelbasir, S. M., Khalek, M. A. A., & Soliman, M. H. (2019). Dye Removal from Aqueous Solution by Regenerated Spent Bleaching Earth. *International Journal of Chemical, Materials and Biomolecular Sciences*, 333–340.
- Slamet, A., Yulikasari, A., Nurhayati, E., & Xaverius, F. (2021). Pengaruh Cahaya Ambient terhadap Efektivitas Penyisihan Rhodamine B Menggunakan Material Komposit Spent Bleaching Earth -ZnO. *Jurnal Purifikasi*, 2(2).
- Tsai, W. T., Chang, Y. M., Lai, C. W., & Lo, C. C. (2005). Adsorption of ethyl violet dye in aqueous solution by regenerated spent bleaching earth. *Journal of Colloid and Interface Science*, 289(2), 333–338. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.03.087>
- Yulikasari, A., Nurhayati, E., Utama, W., & Warmadewanthi, I. (2022). Characterization of Spent Bleaching Earth as an Adsorbent Material for Dye Removal. *Journal of Ecological Engineering*, 23(4), 96–104. <https://doi.org/10.12911/22998993/146353>