

## Sintesis Silika Gel Berbasis *Fly Ash* Batu Bara PLTU Paiton Sebagai Adsorben Zat Warna *Rhodamin B*

(*Synthesis Silica Gel Based on Coal Fly Ash from Paiton Power Plant as Adsorbent of Rhodamine B*)

Siti Aisah, Zulfikar, Yudi Aris Sulistiyo  
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember (UNEJ)  
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121  
E-mail: yudi.fmipa@unej.ac.id

### Abstrak

Abu terbang batu bara dengan prosentase kandungan  $\text{SiO}_2$  telah berhasil digunakan sebagai bahan baku pembuatan Silika Gel. Karakteristik silika gel diketahui dengan munculnya gugus fungsi silanol dan siloksan dengan FTIR, struktur kristal tak beraturan (*amorf*) dengan XRD, bentuk partikel bola (*spherical*) dan analisis unsur dengan EDX. Silika gel yang dihasilkan masih mengandung sedikit pengotor oksida alumina dan oksida natrium. Pengujian kapasitas adsorpsi Rhodamin-B silika gel lebih besar dibandingkan abu terbang dengan model adsorpsi keduanya mengikuti model isothermal Langmuir dengan konsentrasi optimum pada 200 ppm. Kinetika adsorpsi mengikuti model *Pseudo Second Order* dimana laju adsorpsi silika gel sedikit lebih tinggi dibanding abu terbang, tetapi perbedaannya tidak signifikan.

**Kata Kunci:** zat warna Rhodamin B, silika gel, abu terbang batubara, Isothermal adsorpsi, kinetika adsorpsi

### Abstract

Coal fly ash with the high percentage of  $\text{SiO}_2$  was successfully used as raw material for synthesis Silica Gel. The characteristics of silica gel were identified by the emergence of silanol and siloxane functional groups with FTIR, irregular crystalline structures (*amorphous*) with XRD, spherical particle form and elemental analysis with EDX. The silica gel still contained the small number of impurities such as alumina oxide and sodium oxide. The adsorption capacity of Rhodamine-B by silica gel was larger than fly ash with adsorption model both following the Langmuir isothermal model and optimum concentration at 200 ppm. Adsorption Kinetics followed the *Pseudo Second Order* model where the adsorption rate of silica gel is slightly higher than the fly ash, but the difference is not significant.

**Keywords:** Dye Rhodamine B, Silica Gel, coal fly ash, isothermal adsorption, kinetics adsorption

### PENDAHULUAN

Pembakaran batu bara untuk menghasilkan energi listrik menghasilkan hasil samping berupa abu terbang (*fly ash*). Jumlah abu terbang di dunia pada tahun 2005 mencapai 350 juta ton dan hanya dimanfaatkan untuk bahan tambahan konstruksi jalan, dan bahan campuran pembuatan batu-bata atau beton, tetapi jumlah pemanfaatannya masih sangat rendah [1]. Di sisi lain, abu terbang memiliki kandungan kimia seperti  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; dengan prosentase 64.97 %; 26.64 %; 5.69 %, berturut-turut (adak). Potensi kandungan kimia tersebut menjadikan abu terbang yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat [2] [3], zat warna [4] [5], polutan organik [6]. Namun, penggunaan abu terbang secara langsung baik untuk beton maupun adsorben memberikan permasalahan karena kandungan logam berat beracun seperti As, Ba, Hg, Cr, Ni, V, Pb, Zn and Se dapat dilepaskan ke lingkungan [7].

Penghilangan logam pengotor yang beracun dan pemurnian kadar  $\text{SiO}_2$  pada abu terbang merupakan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan pemanfaatan silika sebagai adsorben. Mengacu pada kandungan  $\text{SiO}_2$  pada abu sekam padi dan baggas tebu yang dapat dimurnikan menjadi material silika gel dengan kemurnian 98-99% [8] dan [9], maka abu terbang juga dapat diubah menjadi silika gel. Pada penelitian sebelumnya [10], silika gel berhasil

disintesis dari abu terbang yang memiliki kapasitas adsorpsi terhadap zat warna metilen biru meningkat 62,70% dibanding abu terbang. Kemampuan adsorpsi silika gel dipengaruhi oleh gugus silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si) pada permukaannya yang reaktif terhadap polutan kationik [11]. Selain itu, struktur kerangka 3 dimensi tak beraturan (struktur amorf) juga berperan dalam proses adsorpsi [12].

Limbah zat warna merupakan salah satu jenis limbah yang secara estetika dapat mengganggu lingkungan dan juga beracun bagi manusia dan hewan. Limbah zat warna dapat menghambat cahaya matahari masuk dalam sistem perairan, maka proses biologis dalam lingkungan perairan tidak dapat berjalan baik [13]. Jumlah produksi zat warna setiap tahun mencapai  $7 \times 10^5$  ton dan sekitar 10-15 % akan dibuang ke sistem perairan [14]. Limbah zat warna dihasilkan dari aktifitas industri seperti tekstil, printing, kosmetik, dan pewarna makanan [15]. Salah satu jenis zat warna yang banyak digunakan dalam aktifitas industri adalah Rhodamin-B yang merupakan zat warna merah yang merupakan warna dasar.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mempelajari kemampuan adsorpsi Rhodamin-B oleh silika gel yang di sintesis dari abu terbang batu bara. Pengujian variasi konsentrasi Rhodamin-B untuk menentukan model dan kapasitas adsorpsi silika gel terhadap Rhodamin-B.

Sedangkan variasi waktu adsorpsi untuk mengetahui Kinetika dan laju adsorpsi.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

#### Alat Penelitian

Alat yang digunakan adalah, seperangkat peralatan gelas, set alat refluks, oven (MMM Medcenter), hot plate (HP-3000), shaker termostat, sentrifuge, pH meter, Spektrometri UV-Vis (Spectronic 20, CRT 756), FTIR (Shimadzu IR Prestige 21), XRD (Philips Expert, PW1710) dan SEM-EDX (Zeiss, Evo MA10).

#### Bahan Penelitian

Bahan utama penelitian ini berupa abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Paiton-Probolinggo, aquades, NaOH (Merck, 99%), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck, 96%), HCl (Merck, 37%),

*Rhodamin B*.

#### Prosedur Penelitian

##### Pembuatan Silika Gel

Sebanyak 50 gram abu terbang yang telah dicuci dengan asamkan ditambah dengan larutan NaOH 3 M secara refluks pada suhu 90 °C selama 2 jam. Filtrat yang diperoleh yang merupakan natrium silikat dititrasi dengan larutan Asam klorida (HCl) 2 M sampai pH 7. Gel yang terbentuk *diaging* selama 18 jam pada suhu kamar. Gel yang dihasilkan dicuci dan dikeringkan pada 100 °C selama 12 jam. Silika Gel yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada 550 °C selama 4 jam dan disimpan dalam desikator.

##### Karakterisasi Silika Gel

Silika gel hasil sintesis dilakukan karakterisasi dengan FTIR untuk mengidentifikasi struktur molekul suatu senyawa yang dianalisis pada daerah bilangan gelombang 400-4.000 cm<sup>-1</sup>. Pengujian kristalinitas dan fasa penyusun silika dinalisis menggunakan XRD yang diukur pada sudut 2θ 10-50° menggunakan radiasi Cu- $\alpha$  pada  $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ . Selanjutnya, dilakukan karakterisasi morfologi permukaan silika gel dengan SEM untuk mengetahui bentuk dan ukuran partikel serta analisis unsur kandungan kimianya dengan EDX.

##### Adsorpsi Rhodamin-B oleh Silika Gel dari Abu Terbang

Sebanyak 0,1 gram gel silika gel dan abu terbang masing-masing ditambahkan 25 mL larutan Rhodamin-B dengan variasi konsentrasi 50, 100, 150, 200, dan 250 mg/L, campuran dikocok menggunakan shaker dengan kecepatan 120 rpm dan variasi waktu kontak 15, 30, 60, 90 dan 120 menit. Setelah pengocokan selesai, masing-masing campuran tersebut disaring dan filtrat diukur untuk menentukan konsentrasi sisa Rhodamin-B yang tidak terserap. Berdasarkan data tersebut dapat dihitung kemampuan adsorpsi silika terhadap Rhodamin-B menggunakan persamaan 1.

$$q = V(C_0 - C_e)/M \quad (1)$$

dimana  $q$  adalah jumlah Rhodamin-B terserap pergram silika,  $V$  merupakan volume larutan,  $M$  adalah masa larutan,  $C_0$  dan  $C_e$  masing-masing adalah jumlah rhodamin-B mula-mula dan sisa.

##### Penentuan Model Adsorpsi pada Proses Adsorpsi Rhodamin-B

Penentuan model dan kapasitas adsorpsi secara umum menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Bentuk

linier dari model adsorpsi Langmuir [16] ditentukan dengan persamaan 2 dan Freundlich [17] dengan persamaan 3.

$$1/q_e = 1/q_{\max} + (1/q_{\max} \cdot K_L) 1/C_e \quad (2)$$

dimana  $q_e$  adalah jumlah adsorbat terserap pada saat setimbang (mg/g),  $C_e$  adalah konsentrasi adsorbat saat setimbang the equilibrium concentration of adsorbate (mg/L),  $q_{\max}$  adalah kapasitas adsorpsi *monolayer* (m/g),  $K_L$  adalah konstanta kesetimbangan Langmuir yang berhubungan dengan (L/mg).

$$\log q_e = \log K_F + (1/n) \log C_e \quad (3)$$

Dimana  $K_F$  adalah konstanta Freundlich,  $n$  merupakan parameter dari persamaan Freundlich (Zelentsov, *et al.*, 2012).

##### Kinetika Adsorpsi pada Proses Adsorpsi Rhodamin B

Model kinetika adsorpsi dijelaskan dalam dua jenis orde yaitu pseudo orde 1 dan pseudo orde 2. Bentuk persamaan linieritas pseudo orde sesuai dengan persamaan 4 [17].

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - (k_1/2,303)t \quad (4)$$

dimana  $q_e$  dan  $q_t$  adalah berturut-turut jumlah yang diadsorpsi saat kesetimbangan (mg/g) dan pada waktu  $t$  (mg/g),  $k_1$  merupakan konstanta laju pseudo orde 1 (min<sup>-1</sup>),  $t$  adalah waktu adsorpsi (menit). Penentuan nilai  $k_1$  dapat ditentukan dengan plot antara  $\log(q_e - q_t)$  dengan  $t$ .

Sedangkan bentuk linieritas pseudo orde 2 sesuai persamaan 5 [18].

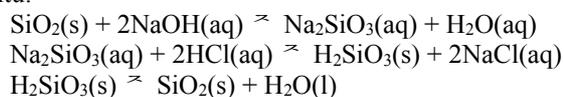
$$t/q_t = 1/k_2 \cdot q_e^2 + (1/q_e)t \quad (5)$$

dimana  $k_2$  adalah konstanta laju pseudo orde 2 (g/mg.min) yang ditentukan dengan plot  $t/q_t$  dengan  $t$ .

## HASIL PENELITIAN

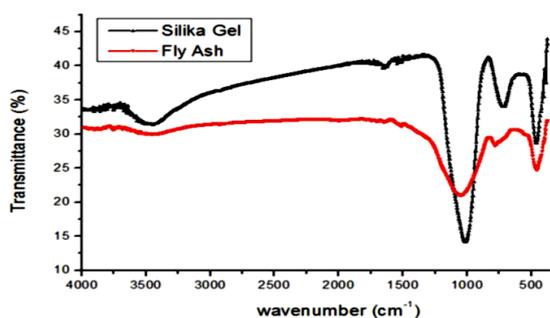
### Sintesis Silika gel

Silika gel yang disintesis dari abu terbang dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama adalah ekstraksi SiO<sub>2</sub> yang dimana abu terbang dicuci dengan aquades panas, pengasaman dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk mengkilangkan oksida logam pengotor. Selanjutnya proses ekstraksi dengan NaOH 3M dengan metode refluks, yang menghasilkan larutan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Karakteristik Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang diperoleh adalah larutannya bersifat licin, sedikit kental, berwarna kuning pucat bening. Tahap selanjutnya adalah pengasaman Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan asam klorida yang menyebabkan terjadinya pertukaran ion natrium (Na<sup>+</sup>) dengan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) menghasilkan endapan putih yang disebut dengan sol (medium terdispersi padatan dan medium pendispersi cairan). Pada saat campuran *diaging* selama 18 jam terjadi proses kondensasi yaitu perubahan dari sol menjadi gel (medium terdispersi cairan dan medium pendispersi padatan). Padatan gel yang terbentuk akan memisahkan partikel dari silika yang terikat dengan molekul air yaitu silika hidrosol atau asam silikat (H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Produk yang dihasilkan berupa serbuk silika berwarna putih dengan masa rata-rata 0,400 gram dari 10 gram abu terbang (11,659 – 14,197%). Reaksi pembentukan silika gel dari abu terbang mengacu pada Kalapathy dkk., (2000) [8] yaitu:



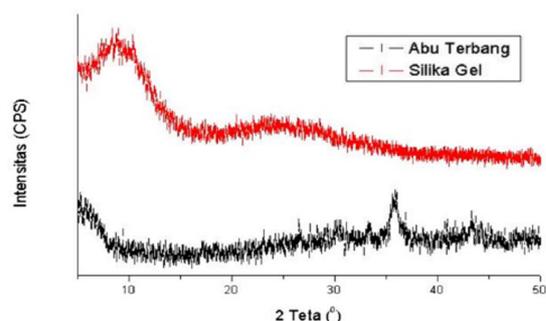
### Karakteristik Silika Gel dari Abu Terbang Batu Bara

Pembuktian karakteristik silika gel hasil sintesis dilakukan dengan mengidentifikasi gugus fungsinya menggunakan FTIR. Spektra FTIR pada Gambar 1. menunjukkan bahwa silika gel dan abu terbang memiliki gugus fungsi yang khas yaitu vibrasi tekuk Si-O-Si, vibrasi ulur simetri Si-O dan vibrasi ulur asimetri Si-O berturut-turut pada bilangan gelombang 462,93; 700 dan 1.016,52  $\text{cm}^{-1}$ , yang menunjukkan adanya kerangka Si-O-Si (siloksan). Selain itu munculnya puncak pada bilangan gelombang 3.453,34  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur -OH dan puncak pada bilangan gelombang 1.630  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya vibrasi bending dari Si-OH menunjukkan bahwa silika gel juga memiliki gugus Si-OH (silanol).



**Gambar 1.** Spektra infra merah (a) silika gel dan (b) Abu terbang batu bara PLTU Paiton

Analisis sampel silika juga dilakukan menggunakan XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel, derajat kristanilitas sampel, parameter kisi kristal dan ukuran kristal sampel. Gambar 2. menunjukkan Pola difraksi yang dihasilkan pada sampel silika gel hasil sintesis menghasilkan puncak melebar pada sudut  $2\theta=5^{\circ}-15^{\circ}$  dan  $2\theta=20^{\circ}-30^{\circ}$ . Menurut [9], silika gel dengan puncak melebar di sekitar  $2\theta=20^{\circ}-22^{\circ}$  menunjukkan silika gel hasil sintesis bersifat amorf. Hasil difraktogram untuk *Fly ash* muncul beberapa puncak yaitu pada sudut  $2\theta=31,36^{\circ}$  dan  $44^{\circ}$  dengan intensitas yang lemah, hal ini menunjukkan bahwa dalam *Fly ash* masih terkandung oksida-oksida logam.



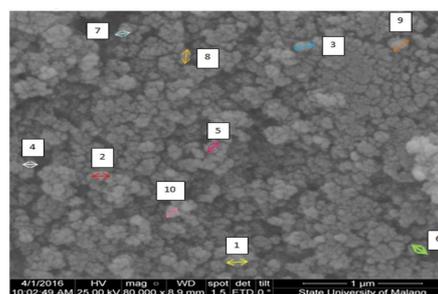
**Gambar 2.** Difraktogram sinar-X (a) silika gel dan (b) Abu terbang batu bara PLTU Paiton.

Selanjutnya, sampel juga dikarakterisasi dengan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan silika gel hasil sintesis dan analisis unsur kandungan kimianya dengan EDX. Morfologi permukaan silika gel hasil sintesis memiliki bentuk bola (*spherical*), dengan ukuran partikel rata-rata  $1,394 \times 10^{-07}$   $\mu\text{m}$  seperti pada Gambar 3. Selain itu, analisis unsur yang terkandung dalam silika gel yang diukur

dengan metode EDX ditabulasikan pada Tabel 1. Munculnya unsur Al dan Na pada silika gel menunjukkan bahwa silika gel masih terdapat pengotor. Oksida Alumina tidak berhasil dipisahkan saat pensusian dengan asam dak ekstraksi dengan basa kuat NaOH karena memiliki sifat amfoter. Sedangkan Na diperoleh pada saat hidrolisis dengan asam HCl menghasilkan produk samping NaCl dan saat pencucian belum dapat dihilangkan secara sempurna.

**Tabel 1.** Unsur-unsur yang terkandung pada Silika Gel

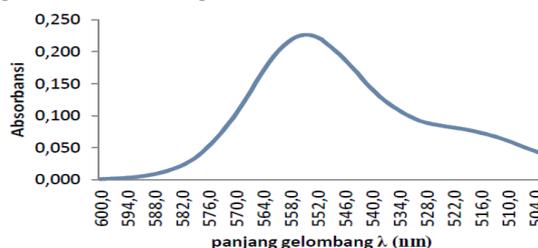
Unsur	Rata-rata % berat
O	50,28
Si	43,21
Al	2,65
Na	3,27



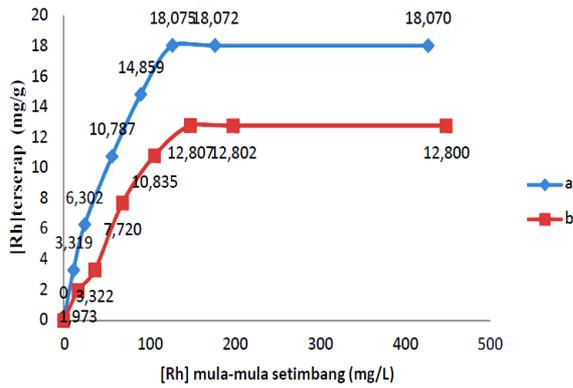
**Gambar 3.** Struktur Morfologi Silika Gel Perbesaran 80.000x

### Isotermal Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B oleh Silika Gel

Larutan Rhodamine-B sebelum dan setelah diadsorpsi oleh silika gel diukur dengan spektrofotometer Uv-Vis pada bilangan Gelombang 553 nm sesuai Gambar 4. Pengujian kemampuan adsorpsi dilakukan menggunakan 0,1 gram silika gel untuk mengadsorpsi Rhodamin-B pada variasi konsentrasi 25, 50, 100, 150, 200, 250 dan 500 ppm menggunakan metode *batch*. Setelah campuran dikocok selama 90 menit, campuran dipisahkan dan sisa larutan diukur yang menunjukkan konsentrasi sisa Rhodamine-B. Menggunakan persamaan 1 maka dapat diketahui konsentrasi Rhodamine-B terserap oleh silika gel pada Gambar 5. Adsorpsi Rhodamin-B oleh silika gel dan abu terbang mencapai titik yang optimum pada konsentrasi 200 ppm dan penambahan konsentrasi Rhodamin B yang lebih besar yaitu 250 ppm dan 500 ppm menunjukkan jumlah serapan yang konstan. Hal tersebut dikarenakan situs aktif pada permukaan silika gel dan abu terbang mengalami kejenuhan, sehingga penambahan konsentrasi zat warna Rhodamin B tidak dapat terserap secara maksimal oleh silika gel dan abu terbang.



**Gambar 4.** Kurva hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi dari larutan Rhodamin B 1 ppm



**Gambar 5.** kurva Kapasitas adsorpsi larutan Rhodamin B pada adsorben (a) Silika Gel (b) Abu Terbang

Penentuan model dan kapasitas adsorpsi yang ditentukan dengan dua model pendekatan yaitu Langmuir dan freundlich ditunjukkan dalam Tabel 2. Model isothermal adsorpsi Rhodamin B oleh silika Gel dan abu terbang mengikuti mengikuti model isothermal adsorpsi Langmuir dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,952 dan 0,927, masing-masing. Nilai regresi yang mendekati menunjukkan koefisien korelasi yang dekat antara hasil eksperimen dengan model isothermal Langmuir. Mengacu pada hal tersebut dapat diketahui bahwa model isothermal adsorpsi Rhodamin-B oleh silika gel dan abu terbang adalah monolayer (satu lapis). Hal tersebut sesuai dengan bentuk adsorpsi dimana penggunaan konsentrasi > 200 ppm menunjukkan serapan konstan (kejenuhan permukaan silika gel). Selain itu, nilai kapasitas adsorpsi Rhodamine-B oleh silika gel dan abu terbang secara berturut-turut adalah 22,472 mg/g dan 17,606 mg/g dan terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi sebesar 30,952%.

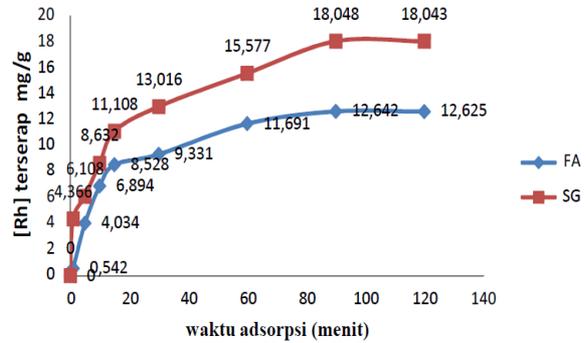
**Tabel 2** Parameter Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Rhodamin B

Parameter	Adsorbent	
	Abu Terbang	Silika Gel
<b>Langmuir</b>	$q_{max}$ (mg/g)	28,249
	$q_e$ (mg/g) (eksperimen)	15,152
	$K_L$ (L/mg)	0,0043
	$R^2$	0,927
<b>Freundlich</b>	$K_F$	10,360
	$n_F$	1,918
	$R^2$	0,718

**Kinetika Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B oleh Silika Gel**

Pengujian pengaruh waktu adsorpsi dilkaukan dengan variasi waktu kontak adsorpsi pada 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90 dan 120 menit dengan konsentrasi Rhodamine-B 200 ppm. Gambar 6. menunjukkan bahwa adsorben silika gel dan Fly ash mengalami kenaikan kapasitas adsorpsi ketika waktu kontak adsorpsi semakin besar. Semakin lama waktu kontak, semakin banyak zat warna Rhodamin B yang terserap oleh adsorbat. Berdasarkan hasil pengamatan yang

telah dilakukan, kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada menit ke 90 karena Rhodamin B dapat di adsorpsi secara optimum oleh silika gel dan fly ash. Namun, waktu kontak 120 menit kapasitas adsorpsi konstan. Kapasitas adsorpsi yang konstan terjadi karena interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang terlalu lama sehingga mengakibatkan terjadinya desorpsi yaitu lepasnya kembali gugus azo yang sudah terikat pada gugus aktif adsorben [19].



**Gambar 6.** Kurva hubungan pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi zat warna Rhodamin B

Kinetika adsorpsi yang telah dihitung menggunakan 2 model pendekatan yaitu *pseudo first order* dan *pseudo second order* ditunjukkan dalam Tabel 3. Kinetika adsorpsi Rhodamine-B oleh silika gel dan abu terbang mengikuti model kinetika adsorpsi pseudo orde 2, karena kurva yang diperoleh *pseudo second order* dengan nilai regresi yang linier  $R^2$  sebesar 0,9922 dan 0,9877, berturut-turut. Kinetika pseudo orde 2 menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi melibatkan interaksi antara adsorben dan adsorbat. Peristiwa ini sesuai dengan model adsorpsi Langmuir yaitu hanya terbentuk satu lapisan pada adsorben (*monolayer*). Sedangkan laju adsorpsi kedua adsorben tidak berbeda secara signifikan yaitu silika gel sedikit lebih cepat dibandingkan abu terbang yaitu 0,0048 dan 0,0045 g/mg.min.

**Tabel 3.** Parameter Pseudo Orde 1 dan 2 pada Adsorpsi Rhodamin B

Parameter	Adsorbent	
	Abu Terbang	Silika Gel
<b>Pseudo Orde 1</b>	$q_e$ (mg/g)	174,95
	$k_1$ ( $min^{-1}$ )	0,0026
	$R^2$	0,7337
<b>Pseudo Orde 2</b>	$q_e$ (mg/g)	14,514
	$k_2$ ( $g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	0,0045
	$R^2$	0,9877

**KESIMPULAN**

Silika gel telah berhasil disintesis dari abu terbang dengan munculnya Gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si), struktur kristalinitas silika gel tidak beraturan (amorf). Sedangkan berdasarkan morfologi silika gel berbentuk bola (*spherical*), dengan ukuran rata-rata  $1,394 \times 10^{-07} \mu m$ . Kandungan unsur silika gel hasil sintesis yaitu O (50,28%), Si (43,21%), Al (2,65%) dan Na (3,27%). Kemampuan adsorpsi Rhodamin-B oleh SG dan

abu terbang mengikuti model Langmuir dengan kapasitas adsorpsi masing-masing 19,841 mg/g dan 15,152 mg/g. Terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi oleh silika gel sebesar 30,952% dibanding oleh abu terbang. Kinetika adsorpsi silika gel mengikuti kinetika *pseudo second order* dengan nilai laju adsorpsi 0,0048 g/mg dan 0,0045 g/mg.min.

### SARAN

Kemampuan adsorpsi Rhodamin-B oleh silika gel dirasa masih belum dibandingkan dengan jumlah adsorpsi abu terbang. Upaya yang perlu dilakukan adalah evaluasi metode untuk menghasilkan silika gel dari abu terbang dengan kemurnian tinggi. Selain itu, modifikasi pada permukaan silika gel.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Wang and H. Wu, "Environmental-benign utilisation of fly ash as low-cost adsorbents," vol. 136, pp. 482–501, 2006.
- [2] M. Nascimento, P. S. M. Soares, and V. P. de Souza, "Adsorption of heavy metal cations using coal fly ash modified by hydrothermal method," *Fuel*, vol. 88, no. 9, pp. 1714–1719, 2009.
- [3] N. Öztürk and D. Kavak, "Adsorption of boron from aqueous solutions using fly ash: Batch and column studies," *J. Hazard. Mater.*, vol. 127, no. 1–3, pp. 81–88, 2005.
- [4] D. Mohan, K. P. Singh, G. Singh, and K. Kumar, "Removal of Dyes from Wastewater Using Flyash, a Low-Cost Adsorbent†," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 41, no. 15, pp. 3688–3695, 2002.
- [5] S. Wang, Y. Boyjoo, A. Choueib, and Z. H. Zhu, "Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud," *Water Res.*, vol. 39, no. 1, pp. 129–138, 2005.
- [6] M. Ahmaruzzaman, "Role of Fly Ash in the Removal of Organic Pollutants from Wastewater Role of Fly Ash in the Removal of Organic Pollutants from," *Energy*, no. February, pp. 1494–1511, 2009.
- [7] A. Dwivedi and M. K. Jain, "Fly ash – waste management and overview: A Review," *Recent Res. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 30–35, 2015.
- [8] U. Kalapathy, A. Proctor, and J. Shultz, "A simple method for production of pure silica from rice hull ash," vol. 73, 2000.
- [9] S. Affandi, H. Setyawan, S. Winardi, A. Purwanto, and R. Balgis, "A facile method for production of high-purity silica xerogels from bagasse ash," *Adv. Powder Technol.*, vol. 20, no. 5, pp. 468–472, 2009.
- [10] Y. A. Sulistiyo, N. Andriana, B. Piluharto, and Z. Zulfikar, "Silica Gels from Coal Fly Ash as Methylene Blue Adsorbent: Isotherm and Kinetic Studies," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 12, no. 2, p. 263, 2017.
- [11] R. Selvaggi, L. Tarpani, A. Santuari, S. Giovagnoli, and L. Latterini, "Applied Catalysis B : Environmental Silica nanoparticles assisted photodegradation of acridine orange in aqueous suspensions," *Applied Catal. B, Environ.*, vol. 168–169, pp. 363–369, 2015.
- [12] V. H. Le, C. Nhan, H. Thuc, and H. H. Thuc, "Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol – gel method," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2013.
- [13] X. Chen, Y. Zhao, J. Moutinho, J. Shao, A. L. Zydney, and Y. He, "Recovery of small dye molecules from aqueous solutions using charged ultrafiltration membranes," *J. Hazard. Mater.*, vol. 284, pp. 58–64, 2015.
- [14] F. Adam, J. Nelson, Z. Khanam, R. Thankappan, M. Asri, and M. Nawi, "Applied Surface Science Utilization of tin and titanium incorporated rice husk silica nanocomposite as photocatalyst and adsorbent for the removal of methylene blue in aqueous medium," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 264, pp. 718–726, 2013.
- [15] J. Ma, B. Cui, J. Dai, and D. Li, "Mechanism of adsorption of anionic dye from aqueous solutions onto organobentonite," *J. Hazard. Mater.*, vol. 186, no. 2–3, pp. 1758–1765, 2011.
- [16] I. Langmuir, "The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 40, pp. 1361–1403, 1918.
- [17] E. Errais *et al.*, "Efficient anionic dye adsorption on natural untreated clay: Kinetic study and thermodynamic parameters," *DES*, vol. 275, no. 1–3, pp. 74–81, 2011.
- [18] Y. S. Ho and G. Mckay, "Pseudo-second order model for sorption processes," vol. 34, pp. 451–465, 1999.
- [19] R. Jain, M. Mathur, S. Sikarwar, and A. Mittal, "Removal of the hazardous dye rhodamine B through photocatalytic and adsorption treatments," vol. 85, pp. 956–964, 2007.