

STUDI ADSORPSI RHODAMIN B MENGGUNAKAN SILIKASEKAM PADI

STUDY OF RHODAMIN B ADSORPTION USING RICE HUSK SILICA

Hanif Amrulloh*

¹Program Studi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah, Fakultas Tarbiyah, Institut Agama Islam Ma'arif NU
Lampung, Lampung, Indonesia

*Email: amrulloh.hanif@iaimnumetrolampung.ac.id

Diterima: 10 Oktober 2022. Disetujui: 8 Desember 2022. Dipublikasikan: 30 Desember 2022

Abstrak: Silika diperoleh dari sekam padi melalui proses ekstraksi dan diaplikasikan untuk menghilangkan Rhodamine B (RhB) dari media berair dengan adsorpsi. Karakteristik silika ditunjukkan melalui difraksi sinar-X, isoterm adsorpsi N₂ dan pemindaian mikroskop elektron. Silika yang dihasilkan digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan pewarna RhB dalam media berair. Kinetika adsorpsi dan isoterm dievaluasi. Silika menunjukkan luas permukaan, volume pori, diameter pori dan porositas yang tinggi. Model pseudo-second order cukup untuk mewakili profil kinetika adsorpsi. Isoterm adsorpsi mengikuti model Langmuir dan Freundlich. Silika sekam padi menunjukkan kapasitas adsorpsi 1,06 mg g⁻¹ dengan persentase penghilangan 84%, menjadi adsorben yang sangat baik untuk pewarna RhB.

Kata kunci: Adsorpsi, Rhodamin B, Ekstraksi, Silika, Sekampadi.

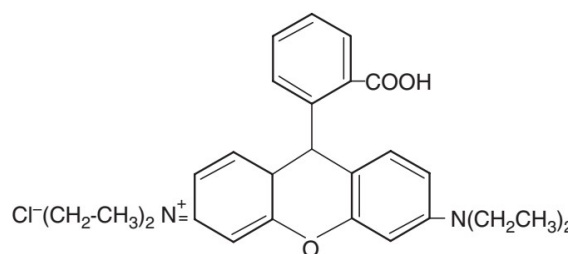
Abstract: Silica was obtained from rice husk through an extraction process and applied to remove Rhodamine B (RhB) from aqueous media by adsorption. The better characteristics of the silica were demonstrated by X-ray diffraction, N₂ adsorption isotherms and scanning electron microscopy. Silica was used as adsorbent to remove RhB dye in aqueous media. Adsorption kinetics and isotherms were evaluated. Silica presented high values of surface area, pore volume, pore diameter and porosity. Pseudo-second order was adequate to represent the kinetic profile. The adsorption isotherm follows the Langmuir and Freundlich models. Rice husk silica attained adsorption capacity of 1.06 mg g⁻¹ coupled with removal percentage of 84%, being an excellent adsorbent for RhB dye.

Keyword: Adsorption, Rhodamine B, Extraction, Silica, Rice Husk.

PENDAHULUAN

Banyaknya limbah pertanian yang diproduksi hampir diseluruh dunia, menyebabkan sebuah permasalahan lingkungan yang besar. Limbah-limbah turunan dari jagung dan padi umumnya diproduksi dalam jumlah yang besar, sehingga memberi peluang yang besar untuk dimanfaatkan [1] [2]. Sekam padi adalah salah satu contoh limbah pertanian yang umumnya dibakar untuk diambil panasnya [3]. Sekam padi tersusun atas senyawa organik maupun anorganik. Senyawa-senyawa organik antara lain lignin, selulosa dan hemiselulosa. Silika (SiO₂) adalah senyawa anorganik yang paling melimpah, didapatkan melalui pembakaran langsung sekam padi [4].

Silika (SiO₂) banyak digunakan di industri-industri sebagai semikonduktor karena memiliki ketahanan kimia yang tinggi. Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak memanfaatkan silika sebagai prekursor untuk membuat senyawa lain, *drug delivery*, membran dan adsorben [5-11]. Proses pembuatan silika dari sekam padi telah banyak dilakukan peneliti sebelumnya. Secara umum metode yang digunakan adalah ekstraksi baik secara langsung maupun tidak langsung [12-17]. Silika yang berasal dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dan dapat diperoleh dengan mudah [12].



Gambar 1. Rhodamin B

Rhodamin B (C₂₈H₃₁N₂O₃Cl) dengan struktur pada Gambar 1, merupakan zat warna yang sangat larut dalam air dan berwarna merah. Pewarna ini banyak digunakan sebagai pewarna tekstil dan bahan makanan. Sangat berbahaya bila tertelan oleh manusia dan hewan, juga dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata dan saluran pernapasan. Penanganan limbah RhB biasa menggunakan teknik degradasi dan adsorpsi [18-23]. Han *et al.*, [6] mengadsorpsi RhB menggunakan silika dengan kapasitas adsorpsi 185,61 mg/g. Model isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dan kinetika adsorpsi mengikuti model orde dua semu. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah persiapan silika dari sekam padi menggunakan metode ekstraksi dan diaplikasikan sebagai adsorben RhB.

METODE PENELITIAN

1. Ekstraksi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi

Sekam padi (*Oryza Sativa L*) didapatkan dari penggilingan padi di Kota Metro, Lampung. Sekam padi dicuci dengan air hangat dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 50 °C. Langkah selanjutnya, 50 gram sekam padi direndam dalam 500 mL larutan NaOH 1,5 %(w/v) kemudian dipanaskan sampai mendidih selama 30 menit. Sampel disaring dan filtrat yang mengandung silika ditampung. Untuk mengendapkan silika, filtrat kemudian ditambahkan larutan HNO₃ 10% (v/v) secara bertahap hingga terbentuk gel dan pH sekitar 7,9. Gel kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar. Selanjutnya gel silika dicuci dan dikeringkan pada suhu 110 °C.

Kristalinitas sampel silika yang dihasilkan ditentukan menggunakan difraksi sinar-X (XRD)(SHIMADZU-7000), dengan radiasi Ni-Cu Ka ($\lambda = 1.54051 \text{ \AA}$, 30 kV, 10 mA), menggunakan $2\theta = 5-100^\circ$; volume pori, rata-rata diameter pori, distribusi ukuran pori dan luas permukaan ditentukan melalui isotherm adsorpsi N₂ pada -196 °C (NOVA-1000 versi 2.2). Sebelumnya, sampel didiamkan pada suhu 200 °C selama 24 jam dalam atmosfer nitrogen, untuk menghilangkan kelembaban dalam sampel. Kemudian dalam ruang hampa suhu 25 °C sampel ditekan sampai tekanan 10^{-4} Pa. Metode BET dan BJH digunakan untuk mengkarakterisasi sampel; analisis karakteristik tekstur sampel dan komposisi menggunakan pemindaian mikroskop elektron (SEM) dan spektroskopidispersif energi (EDS) (JEOL-JSM-6510LV).

2. Uji Aktivitas Adsorpsi

Semua percobaan uji aktivitas adsorpsi dilakukan dengan melarutkan zat warna RhB (berat molekul 479 g mol⁻¹, $\lambda_{\text{max}} = 543 \text{ nm}$) dalam akuades. Percobaan dilakukan dalam sistem *batch* untuk menentukan konsentrasi awal RhB, pH, kinetika dan isotherm adsorpsi. Semua percobaan dilakukan dengan 2 gram silika, 50 mL larutan RhB dan laju pengadukan 400 rpm selama 60 menit.

Penentuan konsentrasi awal RhB dilakukan dengan variasi konsentrasi 10, 20, 30, 40 dan 50 (mg/L). Pengaruh pH dipelajari dengan nilai pH 4, 5, 6, 8 dan 10, setelah ditentukan konsentrasi awal yaitu 50 (mg/L). Kurva kinetika adsorpsi didapatkan dengan waktu kontak dari 0 sampai 120 menit dengan konsentrasi awal RhB 50 (mg/L) dan pH 5. Setelah percobaan, dipisahkan antara padatan dan filtrat dengan penyaringan (Whatmann n° 40). Penentuan konsentrasi RhB dalam filtrat menggunakan spektroskopi UV-Vis (Shimadzu, Jepang) pada panjang gelombang 543 nm. Persamaan 1 dan 2 digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi (mg/g) dan efisiensi adsorpsi :

$$q = \frac{(C_0 - C_e)v}{m} \quad (1)$$

$$\text{Efisiensi adsorpsi (EA, \%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \quad (2)$$

C₀ adalah konsentrasi awal RhB (mg/L), C_e konsentrasi kesetimbangan RhB(mg/L), V adalah volume RhB (L), dan m adalah massa silika (g).

Secara umum kinetika adsorpsi zat warna mengikuti model orde dua semu. Model ini dapat dijelaskan dengan persamaan 3, q_t adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t, k_s adalah konstanta laju model orde dua semu (g/mg menit).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_s q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

Laju penyerapan awal, h (mg/g menit) pada t=0 dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$h = k_s q_e^2 \quad (4)$$

laju adsorpsi awal (h), kapasitas adsorpsi kesetimbangan (q_e) dan konstanta orde dua semu, k_s dapat ditentukan secara eksperimen dari slope dan intersep plot antara t/q_t versus t.

3. Isotherm Adsorpsi

Isotherm adsorpsi terkarakterisasi oleh nilai konstanta tertentu yang menggambarkan karakteristik permukaan, afinitas dari adsorben dan kapasitas adsorpsi adsorben. Persamaan isotherm yang bermacam-macam telah digunakan seperti Langmuir dan Freundlich. Model isotherm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menggambarkan adsorpsi monolayer pada permukaan dengan jumlah terbatas pada tempat yang sama[24].

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{K q_{\text{max}}} + \frac{1}{q_{\text{max}}} C_e \quad (5)$$

q_{max}(mg/L) dan K (L/mg) berturut-turut adalah kapasitas monolayer yang dicapai pada konsentrasi tinggi dan konstanta kesetimbangan.

Model Freundlich menganggap permukaan heterogen dengan distribusi adsorpsi yang tidak seragam pada permukaan[25]. Parameter Freundlich ditentukan persamaan 6. K_f dan 1/n berturut-turut menunjukkan faktor kapasitas Freundlich dan parameter intensitas Freundlich.

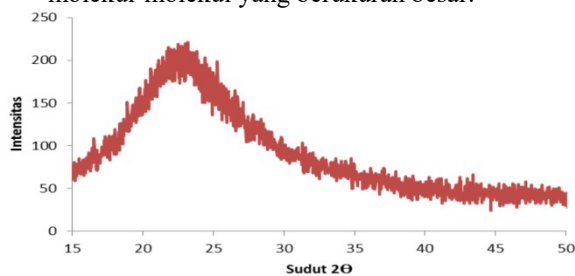
$$\text{Log } q = \text{Log } K_f + \frac{1}{n} \text{Log } C_e \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Silika Sekam Padi

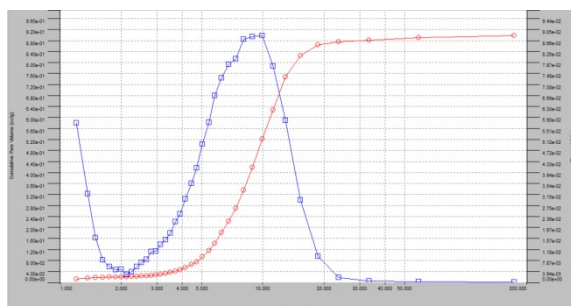
Pola difraksi XRD dari sampel silika sekam padi yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil yang didapatkan menunjukkan silika yang didapatkan berstruktur amorf, dengan puncak karakteristik pada $2\theta = 22^\circ$. Hasil ini sesuai dengan literatur[12], silika amorf terbentuk

ketika dipanaskan dibawah suhu 800 °C. Untuk mengadsorpsi zat warna, material berstruktur amorf sangat disarankan karena dapat menyerap molekul-molekul yang berukuran besar.

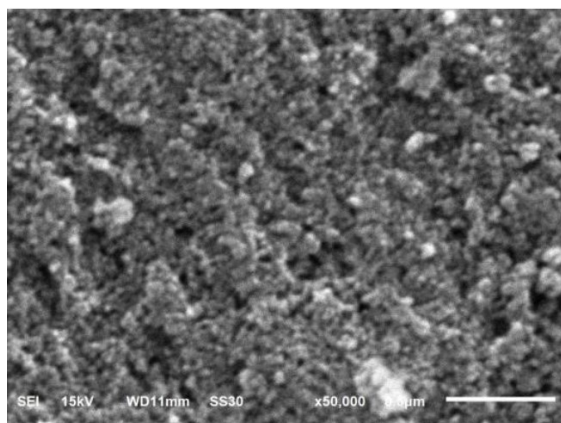


Gambar 2. Pola difraksi sinar-X silika sekam padi

Isoterm adsorpsi/desorpsi gas N₂ dan distribusi ukuran pori silika sekam padi ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil yang didapatkan menunjukkan material yang didapatkan adalah padatan berpori. Senyawa-senyawa oksida anorganik, seperti silika, secara umum diklasifikasikan sebagai padatan berpori[26]. Lebih lanjut, metode BJH digunakan untuk menentukan distribusi ukuran pori yang ditunjukkan pada Gambar 3. Material yang dihasilkan memiliki ukuran pori antara 2-30 nm, karakteristik lebih lanjut silika sekam padi berdasarkan analisis BET, BJH dan XRF ditunjukkan pada Tabel 1. Karakteristik yang didapatkan menunjukkan silika sekam padi cukup baik untuk mengadsorpsi RhB, molekul-molekul RhB akan teradsorpsi melalui pori-pori di dalam material.



Gambar 3. Kurva distribusi pori silika sekam padi



Gambar 4. SEM Silika Sekam Padi

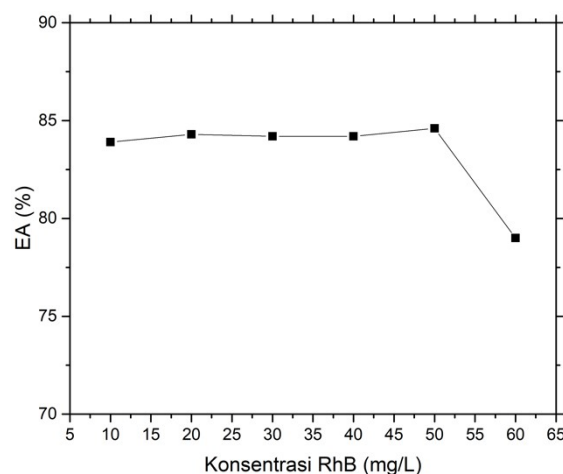
Hasil SEM silika sekam padi ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa silika sekam padi yang didapatkan memiliki bentuk yang hampir sama dari silika sekam padi dalam literatur. Akan tetapi gambar yang didapatkan tidak dapat memvisualisasikan ukuran partikel SiO₂ dengan jelas, tetapi dapat dilihat ukuran partikelnya berada pada skala nanometer. Berdasarkan karakterisasi yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa silika sekam padi memiliki potensi untuk digunakan sebagai adsorben RhB.

Tabel 1. Karakteristik silika sekam padi berdasarkan analisis BET dan BJH

Parameter	Nilai
Luas Permukaan (BET)	380,272 m ² /g
Volume Pori Total	0,899 cc/g
Rata-Rata Diameter Pori	9,934 nm

2. Pengaruh Konsentrasi Awal RhB

Mempelajari pengaruh konsentrasi awal RhB sangat penting untuk menentukan konsentrasi awal RhB yang digunakan agar tercapai efisiensi adsorpsi tertinggi. Silika sekam padi sebanyak 2 gram dicampurkan dengan 50 mL RhB dengan variasi konsentrasi 10, 20, 30, 40, dan 50 (mg/L). Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa dari konsentrasi RhB 10 sampai 50 mg/L persentasi adsorpsi RhB hampir sama sekitar 84 % dan menurun menjadi 79 % pada konsentrasi 60 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut, disimpulkan konsentrasi awal RhB yang digunakan untuk percobaan selanjutnya adalah 50 mg/L. Pada konsentrasi RhB 50 mg/L kapasitas adsorpsi dari silika sekam padi adalah 1,06 mg/g.

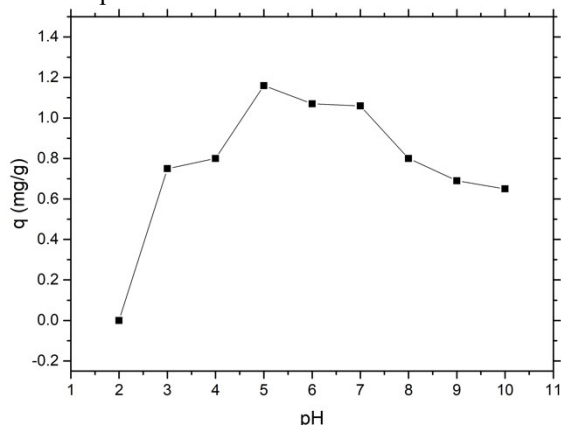


Gambar 5. Pengaruh konsentrasi awal RhB

3. Pengaruh pH

pH adalah faktor terpenting dalam adsorpsi dalam fasa cair, karena berpengaruh pada sifat kimia adsorbat dalam larutan dan juga berpengaruh pada permukaan adsorben. Pada penelitian ini, pH yang dipelajari berkisar pada rentang 2 sampai 10, hasilnya dapat dilihat pada

Gambar 6. Kenaikan nilai pH dari 2 sampai 5 menyebabkan kenaikan kapasitas adsorpsi, tetapi dari pH 5 sampai 10 terjadi penurunan kapasitas adsorpsi.



Gambar 6. Pengaruh pH

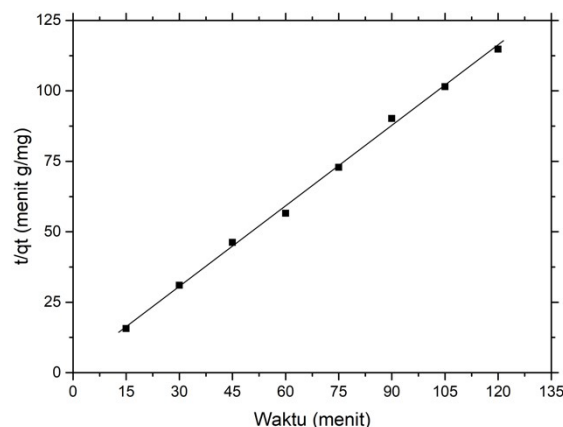
Untuk memahami pengaruh pH ini, harus diperhitungkan karakteristik dari SiO_2 dan RhB. pK_{aRhB} adalah 3,1[27]; sehingga molekul RhB akan berbentuk kation pada pH lebih dari 3,1 dan berbentuk anion pada pH lebih rendah dari 3,1. Adsorben silika mengandung gugus fungsi Si-OH dan O-Si-O. Gugus fungsi Si-OH terdeprotonasi di atas pH 5, sedangkan gugus fungsi O-Si-O bermuatan nol pada pH 5[28]. Jadi, dapat disimpulkan pada suasana asam, gugus fungsi O-Si-O dan Si-OH bermuatan netral dan terprotonasi. Sehingga, molekul RhB teradsorpsi dengan interaksi yang lemah. Pada pH 5, Si-OH terdeprotonasi dan molekul RhB berbentuk kation, menyebabkan interaksi elektronik dan meningkatkan kapasitas adsorpsi. Akan tetapi, pada kondisi basa, adanya ion OH^- menyebabkan permukaan adsorben menjadi bermuatan negatif. Akibatnya, molekul OH^- berinteraksi dengan molekul RhB dan menurunkan kapasitas adsorpsi. Hasil ini mirip dengan yang dipelajari oleh[6], dimana kapasitas adsorpsi RhB terbaik didapatkan pada pH 5, menggunakan silika aerogel. Berdasarkan hasil ini, pH 5 dipilih untuk digunakan pada prosedur selanjutnya.

4. Kinetika Adsorpsi

Kurva kinetika adsorpsi dibuat dari rentang waktu 15 sampai 120 menit, dengan konsentrasi RhB 50 mg/L, 2 g silika dan pH 5. Gambar 7, menunjukkan kurva kinetika adsorpsi RhB menggunakan silika sekam padi dengan model kinetika adsorpsi orde dua semu.

Merujuk pada percobaan Vijayakumaretal[29], menyimpulkan bahwa kinetika adsorpsi zat warna RhB mengikuti model kinetika orde dua semu. Parameter model kinetika orde dua semu adsorpsi Rhodamin B dengan silika sekam padi ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil parameter yang didapatkan mengkonfirmasi nilai kapasitas adsorpsi yang didapatkan pada perlakuan sebelumnya. Studi kinetika yang dihasilkan menunjukkan silika

sekam padi baik untuk digunakan sebagai adsorben RhB, dengan kapasitas adsorpsi yang cukup besar dan laju adsorpsi yang cepat. Hasil ini juga berhubungan dengan besarnya luas permukaan, volume pori dan diameter pori silika sekam padi.



Gambar 7. Grafik model kinetika orde dua semu

5. Kesetimbangan Isoterm Adsorpsi

Kesetimbangan isoterm adsorpsi RhB menggunakan silika sekam padi ditunjukkan pada Gambar 8. Data isoterm dalam penelitian ini dianalisa dengan model Langmuir dan model Freundlich. Percobaan ini dilakukan dengan variasi berat silika sekam padi 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,5 dan 2 gram. Masing-masing sampel dilakukan pada keadaan optimum yang didapatkan sebelumnya. Model adsorpsi Langmuir merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya ikatan fisika yang terjadi antara adsorbat (zat yang diserap) dengan permukaan adsorben (zat yang menyerap). Model adsorpsi Langmuir didasarkan pada hipotesis fisika, molekul adsorben dan energi adsorpsi terdistribusi secara homogen dengan membentuk lapisan monolayer di atas permukaan adsorben dan tidak terjadi perpindahan zat dari adsorbat ke adsorben[24].

Tabel 2. Parameter model kinetika orde dua semu adsorpsi Rhodamin B dengan silika sekam padi

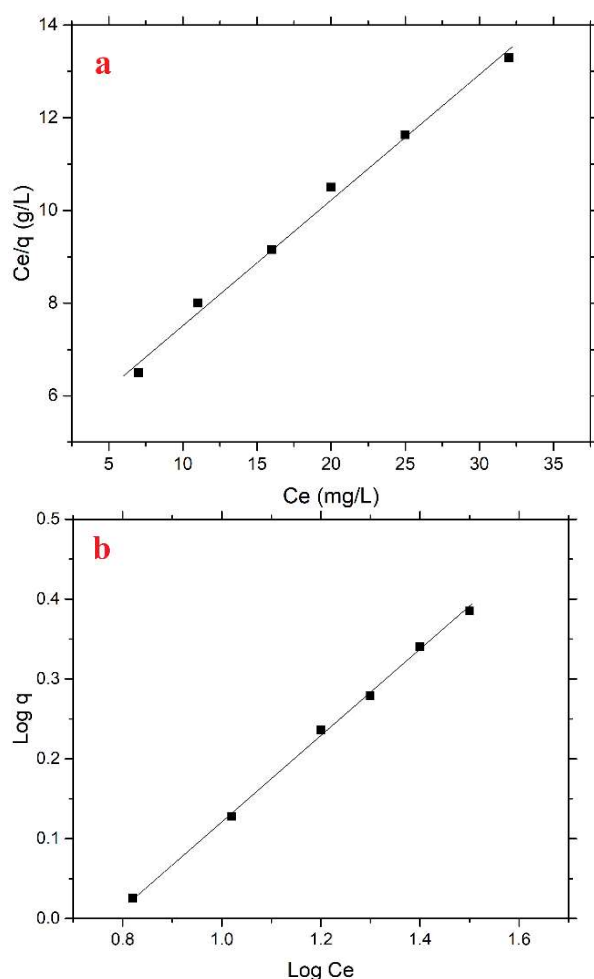
Parameter	Nilai
q_e (mg/g)	1,048
K_s (g/mg menit)	0,689
R^2	0,997
h (mg/g menit)	0,757

Model isoterm adsorpsi Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan sisinya bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap sisi dimana proses adsorpsi di tiap-tiap sisi adsorben mengikuti isoterm Langmuir[25]. Parameter model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich adsorpsi RhB menggunakan silika sekam padi ditunjukkan pada Tabel 3. Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar

molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben, gaya ini disebut gaya *Van derWalls*, sehingga adsorbat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Adsorpsi fisika umumnya terjadi pada suhu rendah dan bertambahnya suhu akan mengakibatkan kemampuan adsorpsi berkurang [30].

Tabel 3. Parameter isoterm adsorpsi Rhodamin B menggunakan silika sekam padi

Parameter	Model Isoterm	
	Langmuir	Freundlich
R^2	0,989	0,992
K	0,057 L/mg	0,390 L/g
q_{max}	3,646 mg/L	-
N	-	1,889



Gambar 8. Grafik isoterm adsorpsi, a) Langmuir b) Freundlich

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan, diantaranya, Kondisi optimum adsorpsi Rhodamin B menggunakan silika sekam padi diperoleh dengan konsentrasi Rhodamin B 50 mg/L dan pH 5. Pada kondisi ini, dicapai efisiensi adsorpsi 84% dengan kapasitas adsorpsi 1,06mg/g adsorben. Kinetika adsorpsi mengikuti model orde

dua semu dengan konstanta laju 0,689 g/mg menit dan laju awal 0,757 mg/g menit. Isoterm adsorpsi mengikuti model Langmuir dan Freundlich.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung secara finansial oleh Lembaga Publikasi, Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPPM) Institut Agama Islam Maarif NU (IAIMNU) Metro Lampung No. 09/0165/IAIMNU/LPM/VIII/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. G. Chuah, A. Jumariah, I. Azni, S. Katayon, and S. Y. Thomas Choong, "Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: an overview," *Desalination*, vol. 175, no. 3, pp. 305–316, 2005 2005.
- [2] D. P. Prasetyawati, "Pemanfaatan Kulit Jagung dan Tongkol Jagung (*Zea mays*) sebagai Bahan Dasar Pembuatan Kertas Seni dengan Penambahan Natrium Hidroksida (NaOH) dan Pewarna Alami," Ph.D. Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2015.
- [3] N. Ueasin, S. Y. Liao, and A. Wongchai, "The Technical Efficiency of Rice Husk Power Generation in Thailand: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis," presented at the Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future: The 7th International Conference on Applied Energy (ICAE2015, 2015, 2015.
- [4] N. Soltani, A. Bahrami, M. I. Pech-Canul, and G. L. A, "Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials," *Chemical Engineering Journal*, vol. 264, pp. 899–935, 2015 2015.
- [5] E. Bagheri *et al.*, "Silica based hybrid materials for drug delivery and bioimaging," *J Control Release*, vol. 277, pp. 57-76, May 10 2018, doi: 10.1016/j.jconrel.2018.03.014.
- [6] H. Han, W. Wei, Z. Jiang, J. Lu, J. Zhu, and J. Xie, "Removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption onto hydrophobic/hydrophilic silica aerogel," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 509, pp. 539–549, 2016 2016.
- [7] Z. Hu, D. Zhang, and J. Wang, "Direct Synthesis of Amine-functionalized Mesoporous Silica for CO₂ Adsorption," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 386–390, 2011 2011.
- [8] K. D. Pandiangan and W. Simanjuntak, *Sintesis katalis heterogen MgO-SiO₂ sekam padi dengan metode sol-gel dan aplikasinya pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa*. Seminar Nasional Sains & Teknologi V Lembaga Penelitian Universitas Lampung, 2013.
- [9] S. K. Rajanna, D. Kumar, M. Vinjamur, and M. Mukhopadhyay, "Silica Aerogel Microparticles from Rice Husk Ash for Drug Delivery,"

- Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 54, no. 3, pp. 949–956, 2015 2015.
- [10] H. M. L.-O. Mwji, H. C. N. A, and W. L. "Hydrothermal stability of silica, hybrid silica and Zr-doped hybrid silica membranes," *Separation and Purification Technology*, vol. 189, pp. 48–53, 2017 2017.
 - [11] Y. Wang, J. Chen, X. Lei, Y. Ren, and J. Wu, "Preparation of high silica microporous zeolite SSZ-13 using solid waste silica fume as silica source," *Advanced Powder Technology*, vol. 29, no. 5, pp. 1112–1118, 2018 2018.
 - [12] R. A. Bakar, R. Yahya, and S. N. Gan, "Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk," *Procedia Chemistry*, vol. 19, pp. 189–195, 2016 2016.
 - [13] M. Bhagiyalakshmi, L. J. Yun, R. Anuradha, and H. T. Jang, "Utilization of rice husk ash as silica source for the synthesis of mesoporous silicas and their application to CO₂ adsorption through TREN/TEPA grafting," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 175, no. 1, pp. 928–938, 2010 2010.
 - [14] S. Chandrasekhar, K. G. Satyanarayana, P. N. Pramada, P. Raghavan, and T. N. Gupta, "Review. Processing, Properties and Applications of Reactive Silica from Rice Husk — An Overview," *Journal of Material Science*, vol. 35, no. 6, pp. 3159–3168, 2003 2003.
 - [15] U. Kalapathy, A. Proctor, and J. Shultz, "An improved method for production of silica from rice hull ash," *Bioresource Technology*, vol. 85, no. 3, pp. 285–289, 2002 2002.
 - [16] N. Yalçın and V. Sevinç, "Studies on silica obtained from rice husk," *Ceramics International*, vol. 27, no. 2, pp. 219–224, 2001 2001.
 - [17] R. Yuvakkumar, V. Elango, V. Rajendran, and N. Kannan, "High-purity nano silica powder from rice husk using a simple chemical method," *Journal of Experimental Nanoscience*, vol. 9, no. 3, pp. 272–281, 2014 2014.
 - [18] A. Asnawati, R. R. Kharismaningrum, and N. Andarini, "Penentuan kapasitas adsorpsi selulosa terhadap rhodamin b dalam sistem dinamis," *Jurnal Kimia Riset*, vol. 2, no. 1, pp. 23–29, 2017 2017.
 - [19] H. M. Gad and A. A. El-Sayed, "Activated carbon from agricultural by-products for the removal of Rhodamine-B from aqueous solution," *J Hazard Mater*, vol. 168, no. 2-3, pp. 1070-81, Sep 15 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.02.155.
 - [20] P. P. Gan and S. F. Y. Li, "Efficient removal of Rhodamine B using a rice hull-based silica supported iron catalyst by Fenton-like process," *Chemical Engineering Journal*, vol. 229, pp. 351–363, 2013 2013.
 - [21] R. Jain, M. Mathur, S. Sikarwar, and A. Mittal, "Removal of the hazardous dye rhodamine B through photocatalytic and adsorption treatments," *Journal of Environmental Management*, vol. 85, no. 4, pp. 956–964, 2007 2007.
 - [22] R. Nurmasari, M. D. Astuti, D. Umaningrum, and D. A. Khusnaria, "Kajian adsorpsi Rhodamin B pada humin," in *Prosiding Seminar Nasional Kimia, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Surabaya*, 2014, pp. 203–210.
 - [23] S. H. Roring, M. M. Pitoi, and J. Abidjulu, "Isoterm Adsorpsi Rhodamin B Pada Arang Aktif Kayu Linggua," *Jurnal MIPA Unsrat Online*, vol. 2, no. 1, pp. 40–43, 2013 2013.
 - [24] I. Langmuir, "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 40, no. 9, pp. 1361–1403, 1918 1918.
 - [25] H. M. F. Freundlich, "Over the adsorption in solution," *J. Phys. Chem*, vol. 57, no. 385471, pp. 1100–1107, 1906 1906.
 - [26] W. Yue and W. Zhou, "Crystalline mesoporous metal oxide," *Progress in Natural Science*, vol. 18, no. 11, pp. 1329–1338, 2008 2008.
 - [27] L. F. Arbeloa, A. T. Lopez, E. M. J. Tapia, and A. I. Lopez, "Photophysics of rhodamines: molecular structure and solvent effects," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 95, no. 6, pp. 2203–2208, 1991 1991.
 - [28] M. Kosmulski, "Isoelectric points and points of zero charge of metal (hydr)oxides: 50years after Parks' review," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 238, pp. 1–61, 2016 2016.
 - [29] G. Vijayakumar, R. Tamilarasan, and M. Dharmendirakumar, "Adsorption, Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic studies on the removal of basic dye Rhodamine-B from aqueous solution by the use of natural adsorbent perlite," *Journal Material Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 157–170, 2012 2012.
 - [30] A. A. Inyinbor, F. A. Adekola, and G. A. Olatunji, "Liquid phase adsorptions of Rhodamine B dye onto raw and chitosan supported mesoporous adsorbents: isotherms and kinetics studies," *Applied Water Science*, vol. 7, no. 5, pp. 2297–2307, 2017 2017.