



SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA VI
"Pemantapan Riset Kimia dan Asesmen Dalam Pembelajaran
Berdasarkan Pendekatan Saintifik"
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS
Surakarta, 21 Juni 2014



**MAKALAH
PENDAMPING**

KIMIA ANALITIK

ISBN : 979363174-0

**STUDI KINETIKA ADSORPSI ZAT WARNA TEKSTIL
REMAZOL BRILLIAN (RB) RED F3B
PADA SELULOSA JERAMI PADI**

A. **Muhammad Ali Zulfikar**^{1,*} **Tri Widiensyah**¹ dan **Saepudin Suwarsa**¹
¹ *Kelompok Keahlian Kimia Analitik, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia*

* Keperluan korespondensi, tel/fax : 022-2502103/2504154, email: zulfikar@chem.itb.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan studi kinetika adsorpsi zat warna reaktif *Remazol Brilliant Red F3B* (RBRF3B) pada selulosa jerami padi sebagai adsorben. Eksperimen dilakukan menggunakan sistem *batch* pada konsentrasi zat warna yang divariasikan antara 50-200 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi zat warna reaktif *Remazol Brilliant Red F3B* (RBRF3B) pada selulosa jerami padi menurun dengan meningkatnya konsentrasi. Dari parameter kinetika ditemukan bahwa proses adsorpsi zat warna RBRF3B pada selulosa jerami padi mengikuti model kinetika *pseudo* orde ke-dua dengan tetapan laju antara 0.055-0.146 g.mg⁻¹.min⁻¹.

Kata Kunci: *adsorpsi, kinetika, RBRF3B, selulosa jerami padi*

PENDAHULUAN

Zat warna sintesis merupakan salah satu pencemar yang seringkali ditemukan pada limbah industri yang menggunakan zat warna. Penghilangan zat warna dari limbah tersebut sangat penting dilakukan, karena pada konsentrasi yang rendah zat warna tersebut bersifat *mutagenic* dan

carcinogenic pada manusia [1-6]. Selain itu adanya zat warna dalam air menyebabkan penetrasi cahaya matahari ke dalam air berkurang, sehingga mempengaruhi kehidupan makhluk air lainnya [3,7-10]. Sejumlah teknologi telah dikembangkan dan telah digunakan untuk menghilangkan zat warna dari air limbah, di antaranya koagulasi-

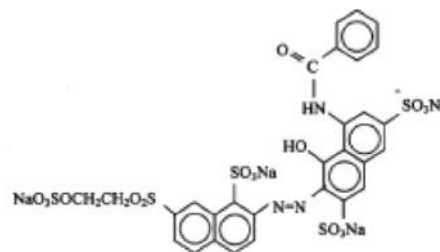
flokulasi, oksidasi-ozonasi, fotokatalisis, biosorpsi, biodegradasi, elektrokimia dan osmosis balik [2,3,4,6,8,11-13]. Bagaimanapun, metoda tersebut mempunyai kelemahan, di antaranya biaya operasional tinggi, sehingga tidak ekonomis. Teknik adsorpsi merupakan teknik yang banyak digunakan untuk menghilangkan zat warna dari limbah, hal ini dikarenakan prosesnya sederhana, murah, lebih efektif dan mudah *direcovery* [2,3,4,6,8,11,14]. Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben, hal ini disebabkan karena karbon aktif sangat efektif dalam menghilangkan senyawa organik dan anorganik dari limbah, termasuk zat warna dan pigmen. Bagaimanapun juga, penggunaan karbon aktif sebagai adsorben mempunyai beberapa kelemahan, di antaranya harganya yang mahal dan sukar untuk diregenerasi [1-3,5,6,8,10,11,13-16]. Oleh sebab itu penghilangan zat warna yang murah dari limbah industri yang murah secara ekonomi masih menjadi masalah hingga kini.

Pada penelitian ini, selulosa yang berasal dari jerami padi digunakan untuk menghilangkan zat warna RBRF3B dari larutannya. Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh konsentrasi terhadap penghilangan zat warna RBRF3B dari larutannya. Selain itu juga akan dipelajari kinetika dan mekanisme adsorpsi penghilangan zat warna RBRF3B dari larutannya menggunakan model kinetika *pseudo-orde 1*, *pseudo-orde 2* dan difusi intra-partikel.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1601, Japan), neraca analitik (Sartorius, USA), shaker bath (Innova 3000, USA) dan pH meter (Orion, USA). Jerami padi, NaOH (Sigma), H₂SO₄ (Sigma), aqua d.m dan zat warna *Remazol Brilliant Red F3B* (RBRF3B) (Sigma-Aldrich). Struktur RBRF3B dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur zat warna RBRF3B

Eksperimen Adsorpsi

Eksperimen adsorpsi dilakukan dalam gelas kimia 100 mL yang mengandung 1 g selulosa jerami padi dan 50 mL zat warna RBRF3B dengan sistem *batch* pada pH 7. Campuran diaduk menggunakan shaker bath (Innova 3000, USA) selama 2 - 180 menit pada variasi konsentrasi 50 – 200 mg/L dan suhu 25 °C.. Persen zat warna yang dapat dihilangkan dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

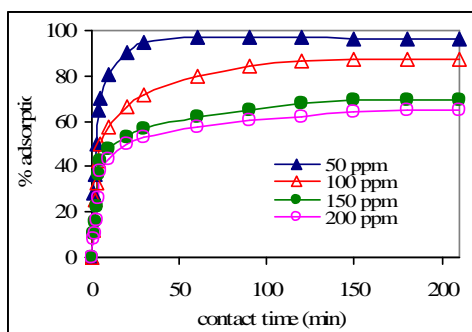
di mana C_i dan C_e adalah konsentrasi awal dan akhir zat warna RBRF3B dalam larutan (mg L⁻¹). Jumlah zat warna yang dapat diadsorpsi oleh per unit adsorben pada kesetimbangan dengan volume sampel, dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$q_e = \frac{C_i - C_e}{m} \times V \quad (2)$$

di mana V adalah volume sampel (L) dan m adalah massa adsorben (g) yang digunakan. Konsentrasi zat warna RBRF3B dalam larutan awal dan sesudah proses adsorpsi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1601, Japan) pada λ maksimum 538 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Adsorpsi



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi zat warna terhadap adsorpsi

Pengaruh konsentrasi terhadap penghilangan zat warna RBRF3B pada berbagai waktu kontak dapat dilihat pada Gambar 2. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa persentase penghilangan zat warna RBRF3B menurun dengan meningkatnya konsentrasi awal zat warna. Hal ini mungkin disebabkan karena pada konsentrasi tinggi, molekul zat warna cenderung membentuk agregat, sehingga difusi molekul zat warna tersebut ke dalam adsorben menjadi terhalang [7,13].

Fenomena yang sama juga terlihat pada adsorpsi zat warna Congo red pada N,O-carboxymethyl-chitosan [12], karbon aktif [17], montmorillonite termodifikasi surfaktan [13], kitosan hidrogel diimpregnasi dengan CTAB [8], and cangkang telur [18].

Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan parameter yang penting untuk mengevaluasi dinamika proses adsorpsi. Untuk melihat mekanisme proses penghilangan zat warna RBRF3B oleh selulosa jerami padi, digunakan model kinetika *pseudo*-orde 1, *pseudo*-orde 2 dan difusi intra-partikel. Model kinetika *pseudo*-orde 1 bisa diturunkan dari persamaan berikut:

$$\log (q_e - q_t) = \log (q_e) - \frac{k_1}{2.303} t \quad (3)$$

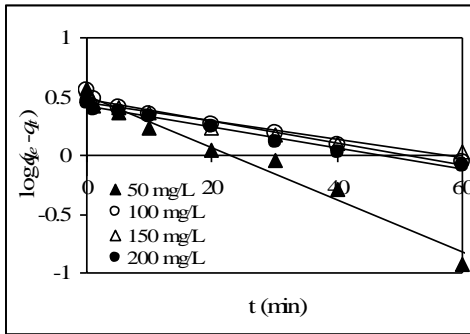
di mana q_e (mg/g) dan q_t (mg/g) adalah jumlah zat warna RBRF3B yang teradsorpsi pada kesetimbangan dan pada waktu t , dan k_1 adalah tetapan laju kinetika *pseudo*-orde 1 (min^{-1}). Besaran k_1 diperoleh dari kemiringan aluran $\log (q_e - q_t)$ terhadap t yang merupakan garis lurus.

Untuk model kinetika *pseudo*-orde 2, dapat digunakan persamaan berikut:

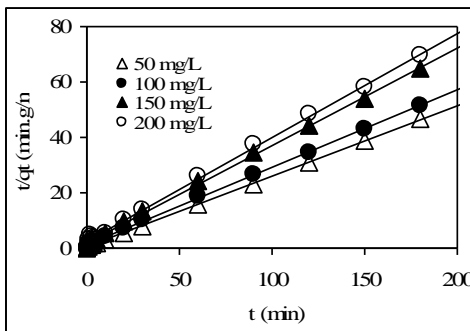
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

di mana k_2 adalah tetapan laju kinetika *pseudo*-orde 2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$). Besaran k_2 diperoleh dari intersep aluran t/q_t terhadap t yang merupakan garis lurus.

Plot $\log (q_e - q_t)$ terhadap t pada persamaan kinetika *pseudo*-orde 1 dan plot t/q_t terhadap t pada persamaan kinetika *pseudo*-orde 2 dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 dan parameternya disimpulkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Plot model kinetika *pseudo*-orde pertama



Gambar 4. Plot model kinetika *pseudo*-orde kedua

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa plot $\log (q_e - q_t)$ terhadap t tidak menghasilkan garis lurus. Selain itu terdapat perbedaan yang besar antara nilai q_e yang diperoleh dari perhitungan dan q_e yang diperoleh dari hasil eksperimen (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa kinetika *pseudo*-orde 1 tidak sesuai pada proses penghilangan zat warna RBRF3B. Sebaliknya plot t/q_t terhadap t pada persamaan kinetika *pseudo*-orde 2 menghasilkan garis lurus dengan nilai R^2 di atas 0,99 (Gambar 4). Selain itu dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai q_e yang diperoleh dari perhitungan mendekati nilai q_e yang diperoleh dari hasil eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa proses penghilangan zat warna RBRF3B mengikuti reaksi kinetika *pseudo*-orde 2.

Kons. Awal (mg/L)	q_{exp} (mg/g)	k_1 (min^{-1})	q_{cal} (mg/g)	R^2	k_2 ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	q_{cal} (mg/g)	R^2
50	3.880	0.051	3.208	0.971	0.146	3.911	0.999
100	3.452	0.022	3.004	0.969	0.055	3.577	0.999
150	2.715	0.018	2.799	0.943	0.064	2.846	0.999
200	2.480	0.021	2.623	0.980	0.055	2.669	0.999

Tabel 1. Parameter model kinetika pseudo orde pertama dan kedua

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa tetapan laju penghilangan zat warna RBRF3B menurun dengan meningkatnya konsentrasi. Hal ini disebabkan karena molekul zat warna membentuk agregat pada konsentrasi tinggi dan menyebabkan laju difusinya menurun.

Model kinetika *pseudo*-orde 2 tidak bisa menjelaskan mekanisme proses penghilangan zat warna RBRF3B. Oleh

karena itu, untuk menganalisis mekanisme proses penghilangan tersebut, digunakan model kinetika difusi intra-partikel.

Pada model ini, proses adsorpsi bisa digambarkan melalui tiga tahap [19,20]: (i) perpindahan sorbat dari larutan fasa ruah menuju permukaan adsorben melalui difusi eksternal (atau difusi film), (ii) difusi internal, dimana terjadi perpindahan sorbat dari permukaan adsorben menuju bagian dalam

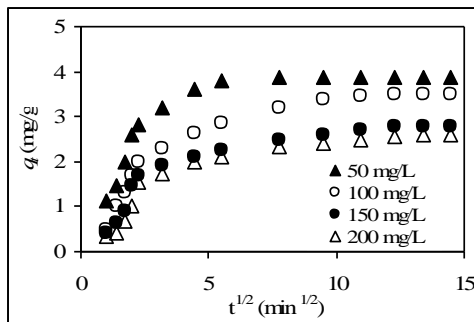
gugus aktif adsorben, dan (iii) sorpsi sorbat dari sisi aktif adsorben menuju permukaan dalam pori. Laju total dari proses sorpsi tersebut dikontrol oleh tahap yang paling lambat, yang disebut sebagai tahap pembatas laju. Model kinetika difusi intra-partikel menggunakan persamaan berikut:

$$q_t = k_d t^{1/2} + C \quad (5)$$

di mana q_t adalah jumlah zat warna RBRF3B yang diadsorpsi pada waktu t , k_d merupakan tetapan laju difusi ($\text{mg/g min}^{1/2}$) dan C merupakan intersep yang menggambarkan ketebalan lapisan batas (*boundary layer*) [6,18,19,21]. Nilai k_d diperoleh dari kemiringan garis plot q_t terhadap $t^{1/2}$. Plot q_t terhadap $t^{1/2}$ dari data eksperimen dapat dilihat pada Gambar 5 dan parameter kinetiknya dirangkum dalam Tabel 2.

Kons. Awal (mg/L)	k_{d1}	C_1	R_1^2	k_{d2}	C_2	R_2^2	k_{d3}	C_3	R_3^2
50	1.460	-0.445	0.970	0.279	2.410	0.986	0.002	3.898	0.611
100	1.171	-0.675	0.994	0.267	1.469	0.992	0.042	2.938	0.796
150	1.094	-0.817	0.935	0.146	1.434	0.999	0.046	2.167	0.889
200	0.934	-0.770	0.867	0.121	1.407	0.964	0.041	2.035	0.943

Tabel 2. Parameter model kinetika difusi intra-partikel



Gambar 5. Plot model kinetika difusi-intra partikel

Dari Gambar 5 tersebut dapat dilihat bahwa plot yang dihasilkan mempunyai tiga bagian linier, bagian pertama, kedua dan bagian ketiga, yang menunjukkan bahwa proses penghilangan zat warna RBRF3B terjadi dalam tiga tahapan reaksi. Bagian linier pertama berhubungan dengan tahap adsorpsi yang berlangsung sangat cepat (k_{d1}) yang terjadi pada permukaan eksternal adsorben. Bagian linier kedua (k_{d2})

merupakan tahap adsorpsi yang lambat, di mana tahap ini berhubungan dengan difusi intra-partikel [7,19-21] dan tahap ketiga adalah tahap kesetimbangan (k_{d3}).

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa ketebalan lapisan batas pada bagian linier ketiga (C_3) lebih besar dari kedua (C_2) dan pertama (C_1). Akibatnya tetapan laju tahap kesetimbangan (k_{d3}) lebih kecil dari tahap laju difusi intra-partikel (k_{d2}) dan tahap laju difusi film (k_{d1}) [6]. Oleh sebab itu proses penghilangan zat warna RBRF3B oleh selulosa jerami dikontrol oleh difusi intra-partikel [6].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa proses penghilangan asam humus dari air gambut menggunakan selulosa jerami padi menurun dengan meningkatnya konsentrasi. Dari data kinetika adsorpsi, ditemukan

bahwa proses penghilangan asam humus dari air gambut mengikuti model kinetika *pseudo-orde 2*, dengan nilai tetapan laju antara 0,055 – 0,146 g/mg min. Dengan menggunakan model kinetika difusi intra-partikel, diketahui bahwa mekanisme penghilangan asam humus dari air gambut dikontrol oleh difusi intra-partikel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Bandung atas fasilitas dan bantuan dana yang diberikan pada penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Binupriya, A.R., Sathishkumar, M., Swaminathan, K., Ku, C.S. and Yun, S.E., 2008, *Bioresource Technol.*, 99, 1080.
- [2] Chatterjee, S., Lee, D.S., Lee, M.W. and Woo, S.H., 2009a, *Bioresource Technol.*, 100, 2803.
- [3] Chatterjee, S., Lee, D.S., Lee, M.W. and Woo, S.H., 2009b, *Bioresource Technol.*, 100, 3862.
- [4] Chen, H. and Zhao, J., 2009, *Adsorption.*, 15, 381.
- [5] Ehrampoush, M.H., Ghanizadeh, G. and Ghaneian, M.T., 2011, *Iran J. Environ. Health Sci. Eng.*, 8(2), 101.
- [6] Elkady, M.F., Ibrahim, A.M. and El-Latif, M.M.A., 2011, *Desalination.*, 278, 412.
- [7] Amran, M.B. and Zulfikar, M.A., 2010, *Int. J. Environ. Studies.*, 67(6), 11.
- [8] Chatterjee, S., Lee, M.W. and Woo, S.H., 2010, *Bioresource Technol.*, 101, 1800.
- [9] Mumin, M.A., Khan, M.M.R., Akhter, K.F. and Uddin, M.J., 2007, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4(4), 525.
- [10] Patil, A.K. and Shrivastava, V.S., 2010, *Int. J. ChemTech. Res.*, 2(2), 842.
- [11] Vimonses, V., Lei, S., Jin, B., Chow, C.W.K. and Saint, C., 2009, *Chem. Eng. J.*, 148, 354.
- [12] Wang, L. and Wang, A., 2008a, *Bioresource Technol.*, 99, 1403.
- [13] Wang, L. and Wang, A., 2008b, *J. Hazard. Mater.*, 160, 173.
- [14] Han, R., Ding, D., Xu, Y., Zou, W., Wang, Y., Li, Y. and Zou, L., 2008, *Bioresource Technol.*, 99, 2938.
- [15] Jumasiah, A., Chuah, T.G., Gimbon, J., Choong, T.S.Y. and Azni, I., 2006, *Desalination.*, 186, 57.
- [16] Zhang, Z., Moghaddam, L., O'Hara, I.M. and Doherty, W.O.S., 2011, *Chem. Eng. J.*, 178, 122.
- [17] Namasivayam, C. and Kavitha, D., 2002, *Dye Pigments.*, 54, 47.
- [18] Zulfikar, M.A. and Setiyanto, H., 2013, *Int. J. ChemTech. Res.*, 5(4), 1532.
- [19] Jadhav, D.N. and Vanjara, A.K., 2004, *Indian J. Chem. Technol.*, 11, 42.

[20] Ugurlu, M. and Dogar, C., 2005,
Adsorption., 11, 87.

[21] Fan, J., Cai, W. and Yu, J., 2011,
Chem. Asian J., 6, 2481.