

ADSORPSI METILEN BIRU MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI AMPAS TEBU

Retno Hardiyati, Novi Sylvia* dan Muhammad

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia

Email: novi.sylvia@unimal.ac.id

Abstrak

Penelitian penyerapan metilen biru menggunakan karbon aktif dari ampas tebu sudah selesai dilaksanakan. Metilen biru merupakan zat pewarna dasar yang banyak digunakan dalam bidang industri tekstil. Adsorpsi merupakan salah satu metode pemisahan yang paling sering digunakan pada kebanyakan industri berskala besar, karena prosesnya yang mudah dan biaya operasinya juga tergolong murah. Ampas tebu diperoleh dari pedanggang/penggiling tebu yang ada di seputaran Kota Lhokseumawe, selanjutnya diproses menjadikan adsorben yang kemudian digunakan untuk mengadsorpsi metilen biru dari larutan. Upaya untuk mendapatkan karbon aktif yang sesuai untuk dijadikan sebagai adsorben maka ampas tebu dipirolisis pada temperatur 500°C selama 2 jam, kemudian diaktifasi menggunakan HCl 2M selama 24 jam. Hasil analisa karbon aktif yang dibuat dari ampas tebu memiliki kadar air sebesar 2,82%, kadar abu 7,8% dan kadar karbon terikat 89,35%. Sementara hasil analisis adsorpsi mendapatkan bahwa Efisiensi adsorpsi menggunakan karbon aktif dari ampas tebu paling tinggi adalah 99,79% pada konsentrasi 40 mg/L dengan massa adsorben 15 gr. Mekanisme kinetika reaksi dievaluasi menggunakan tiga model yaitu *pseudo first order* (PFO), *pseudo second orde* (PSO) dan intrapartikel model. Berdasarkan ketiga jenis model yang pakai maka diperoleh bahwa mekanisme adsorpsi mengikuti model PSO. Konstanta laju reaksinya masing-masing untuk konsentrasi 20 dan 40 mg/L adalah 1,249 mg⁻¹ min⁻¹ dan 0,619 mg⁻¹ min⁻¹, sedangkan koefisien korelasinya (R^2) adalah 0,9996 dan 0,9997.

Kata kunci: adsorpsi, metilena biru, kinetika, karbon aktif.

Pendahuluan

Pesatnya perkembangan industri tekstil maka meningkat pula pembuangan limbah ke lingkungan, salah satu zat pewarna yang paling sering ditemukan di badan air adalah metilen biru yang biasa digunakan sekitar 5% dalam pewarna, sedangkan sisanya 95% akan dibuang ke badan air, sehingga dapat mencemari lingkungan dalam konsentrasi yang besar. Metilen biru dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sanosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit [1]. Adsorpsi merupakan proses penyerapan pada permukaan suatu zat lain yang diikat secara kimia ataupun fisika. Ampas tebu yang didapatkan diseputaran Kota Lhokseumawe dan Aceh Utara merupakan produk samping yang tidak terpakai (limbah) yang dibuang secara sembarangan, sehingga terinspirasi oleh peneliti untuk menggunakannya sebagai precursor untuk pembuatan adsorben yang berupa karbon aktif.

Karbon aktif banyak digunakan sebagai material adsorben karena memiliki porositas dan luas permukaan yang tinggi [2]. Karbon aktif mempunyai daya serap yang baik digunakan sebagai bahan pemucat (penghilang zat warna), penyerap gas, penyerap logam, bahan organik maupun non organik [3].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi mekanisme penyerapan metilen biru pada karbon aktif yang terbuat dari ampas tebu, dimana variabel-variabel yang terlibat adalah berat adsorben, waktu kontak dan pengaruh konsentrasi awal metilen biru.

Tinjauan Pustaka

Ampas tebu (*Bagasse*) memiliki kandungan karbon yang sangat tinggi, yaitu hemiselulosa (25%) selulosa (50%)[4]. Secara umum adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben dapat bersifat adsorpsi fisika (*physisorption*) atau adsorpsi kimia (*chemisorption*). Untuk mengukur kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$q_e = \frac{(C_t - C_o)}{m} \times V \quad (1)$$

$$E = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_o adalah konsentrasi awal adsorbat (mg/L), C_t adalah konsentrasi akhir adsorbat (mg/L), V adalah volume adsorbat (L), m adalah massa adsorben (g) dan E adalah efisiensi %.

Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Waktu kontak merupakan faktor yang dapat merefleksikan kinetika suatu adsorben dalam berinteraksi dengan adsorbat. Waktu juga dapat dijadikan sebagai indikator untuk menentukan tingkat efektifitas adsorben dalam satu proses adsorpsi. Karakteristik kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Pada berbagai penelitian, data kinetika adsorpsi diperoleh secara empiris dengan menggunakan model persamaan orde. Bentuk nonlinier dari persamaan PFO dan PSO berturut-turut ditampilkan pada persamaan (3) dan persamaan (4) berikut:

$$q_t = q_e [1 - e^{-k_1 t}] \quad (3)$$

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

Pemodelan difusi intrapartikel dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan adsorpsi metilena biru pada jenis adsorben ampas tebu. Model kinetika difusi intrapartikel dapat dilihat pada persamaan (5) berikut:

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

Penggunaan persamaan ini bertujuan untuk mempelajari mekanisme kinetika adsorpsi, menentukan model yang sesuai untuk data eksperimen berdasarkan korelasi koefisien (R^2) yang diperoleh dengan cara membandingkan plot data eksperimen dengan persamaan PFO, PSO dan difusi intrapartikel. Selain itu, pemodelan ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah selama proses adsorpsi terjadi reaksi kimia atau tidak pada adsorben.

Metodologi Penelitian

Bahan dan alat. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari metilena biru ($C_6H_{18}N_3SCl$), NaOH, dan HCl *analytical grade*, diperoleh dari *Sigma Aldrich*, limbah ampas tebu dan aquades. Sedangkan peralatan-peralatan utama yang digunakan adalah UV/VIS *double beam*, *furnace*, *shaker*, *centrifuge*, oven, dan desikator.

Pembuatan Adsorben dari Ampas Tebu. Ampas tebu dipotong dengan ukuran kecil-kecil untuk memudahkan pengurangan kadar air yang terkandung didalam ampas tebu disaat pengeringan. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 500°C selama 2 jam. Arang ampas tebu yang diperoleh dihaluskan dan diayak dengan ayakan 100 *mesh*,

kemudian ditimbang sebanyak 500 gram arang ampas tebu direndam dengan HCl 2M selama 24 jam. Setelah itu dicuci dengan aquades sampai netral (bebas asam), disaring, dan dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam.

Penentuan pH Optimum. Massa adsorben 0,3 gr dimasukkan ke dalam 250 mL larutan metilen biru yang konsentrasinya ditetapkan 60 mg/L, variasi pH ditetapkan 2,3,4,5,6,7,8,9,10 dan 11 menggunakan larutan HCl 2M dan NaOH 2M untuk menyesuaikan pH-nya. Gelas erlenmeyer ditutup dengan alumunium foil, diguncangkan (*shaker*) selama 1 jam. Adsorben dipisahkan menggunakan *centrifuge*. Filtrat yang diperoleh, dipipet sebanyak 50 ml kemudian diuji menggunakan UV/Vis.

Pengujian Analisa

Parameter yang diuji pada penelitian ini terdiri dari pengujian analisa karbon aktif sesuai SNI 06-3730-1995, uji pH metilena biru dan uji penyerapan metilena biru dengan karbon aktif menggunakan adsorpsi sistem kolom (kontinyu). Data yang diperoleh dari hasil pembacaan Spektrofotometer UV/Vis, yang teradsorpsi (selisih konsentrasi metilena biru awal dan konsentrasi metilena biru akhir) dan kandungan pada metilena biru yang teradsorpsi dengan karbon aktif dari ampas tebu.

Penelitian adsorpsi kinetik dilakukan pada konsentrasi yang berbeda (20 dan 40 mg/L) untuk mendapatkan kinetika kesetimbangan. Adsorbat yang dipilih untuk investigasi ini adalah metilen biru (MB). Serangkaian erlenmeyer ukuran 500 mL digunakan sebagai media tempat terjadinya adsorpsi. Setiap erlenmeyer diisi dengan 250 mL larutan MB dari berbagai konsentrasi dan disesuaikan pada pH 7,0. Labu berbentuk kerucut dengan larutan MB kemudian diguncang dengan menggunakan *shaker*, yang dioperasikan pada putaran 150 rpm dan temperatur 30±1°C. Ketika suhu yang diinginkan sudah tercapai, sejumlah adsorben ditambahkan ke dalam masing-masing erlenmeyer. Setelah periode tertentu larutan diambil dengan menggunakan pipet dan dipisahkan adsorben dengan filtratnya menggunakan *centrifuge*, kemudian filtratnya dianalisis konsentrasi MB tersisa dalam larutan dengan menggunakan UV/Vis pada panjang gelombang maksimum (λ) 660 nm [5].

Hasil dan Pembahasan

Karbon Aktif. Hasil karbonisasi ampas tebu dan arang ampas tebu yang telah dihaluskan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Arang ampas tebu

(b) Arang ampas tebu lolos 100 mesh

Gambar 1 menunjukkan bahwa proses karbonisasi pada ampas tebu terjadi penguraian senyawa organik menjadi karbon. Hal tersebut dikarenakan senyawa organik pada ampas tebu telah mengalami karbonisasi hingga waktu pemanasan mencapai 2 jam dengan suhu 500°C. Arang ampas tebu lolos 100 *mesh* (Gambar 1b) diaktivasi secara kimia menggunakan larutan HCl 2M. Hasil aktivasi arang ampas tebu ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Karbon aktif dari ampas tebu teraktivasi HCl 2M

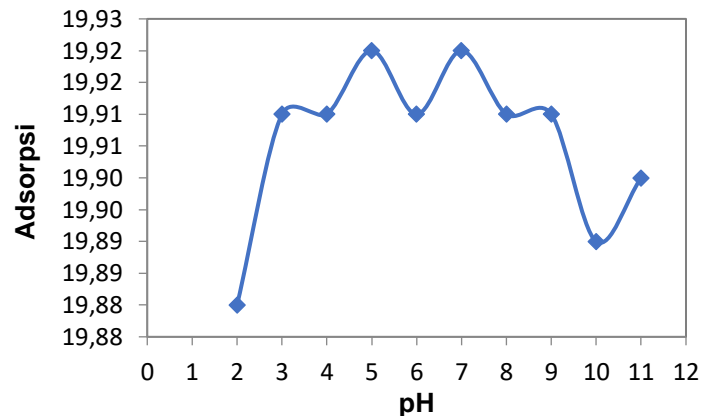
Gambar 2 memperlihatkan karbon aktif dari ampas tebu yang telah diaktivasi. Proses aktivasi dengan asam akan melalui oksida-oksida logam yang terdapat pada karbon aktif dari ampas tebu setelah proses karbonisasi sehingga mampu meningkatkan kualitas karbon aktif yang dapat dianalisa dengan beberapa parameter.

Hasil Uji Analisa Karbon Aktif. Karbon aktif yang diperoleh pada penelitian diuji sesuai syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 dengan parameter pemanasan 500°C pada kadar air, kadar abu dan karbon terikat.

Tabel 1. Kualitas karbon aktif dari ampas tebu dengan syarat mutu SNI

No	Parameter	Hasil	Syarat SNI
1	Kadar Air	2.82 %	maks.25 %
2	Kadar Abu	7.8 %	maks.15 %
3	Kadar Karbon terikat	89.35 %	min.80

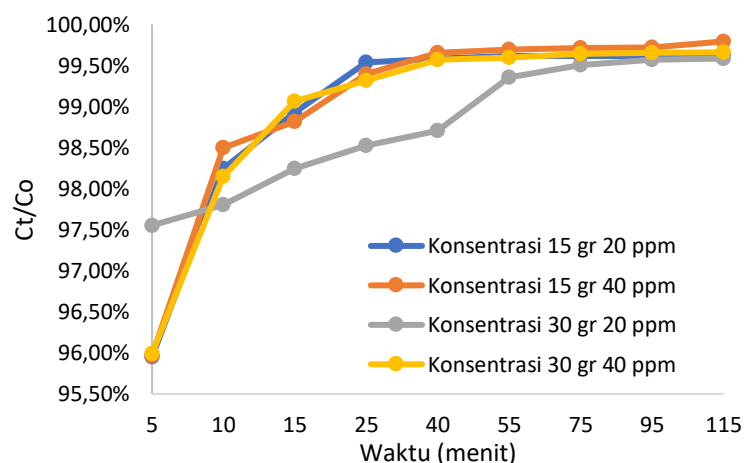
Penentuan pH Optimum untuk Adsorpsi. Power hidrogen (pH) optimum ditentukan untuk mengetahui kemampuan daya adsorpsi karbon aktif dari ampas tebu terhadap senyawa metilen biru, sehingga fungsi adsorben tersebut dapat digunakan dengan baik terhadap pengolahan air limbah yang mencemari lingkungan.



Gambar 3. Penentuan pH optimum pada adsorpsi MB dengan berat karbon 0.3 gr dan lamanya penyerapan 60 menit

Gambar 3 memperlihatkan bahwa pH terendah terjadi pada pH 2 dan kemudian meningkat pada pH 5 kemudian menurun pada pH 6 kemudian kembali meningkat pada pH 7. Jika dicermati maka pH adsorpsi maksimum terjadi pada pH 5 dan 7. Alasan pemilihan pH 7 karena kondisi lingkungan selalu berada pada kisaran 6-8. Pada pH yang sangat asam, metilen biru akan terprotonasi oleh ion H^+ sehingga akan menyebabkan perubahan struktur senyawa pada metilen biru menjadi kurang berwarna. Sedangkan apabila dalam suasana basa, metilen biru akan berinteraksi dengan ion Na^+ dari basa untuk membentuk garam, diikuti oleh penutupan parsial positif Nitrogen (N) oleh ion OH^- dari senyawa basa. Hal ini diperkuat oleh data penelitian bahwa perlakuan alkali mampu menurunkan kandungan hemiselulosa, selulosa dan lignin sehingga interaksi antara adsorben dan adsorbat akan berkurang dan berakibat pada menurunnya persentase adsorpsi metilena biru [6].

Kapasitas Penyerapan MB. Penentuan kapasitas penyerapan bertujuan untuk mengetahui kemampuan atau banyaknya penyerapan adsorbat terhadap setiap gram adsorben.

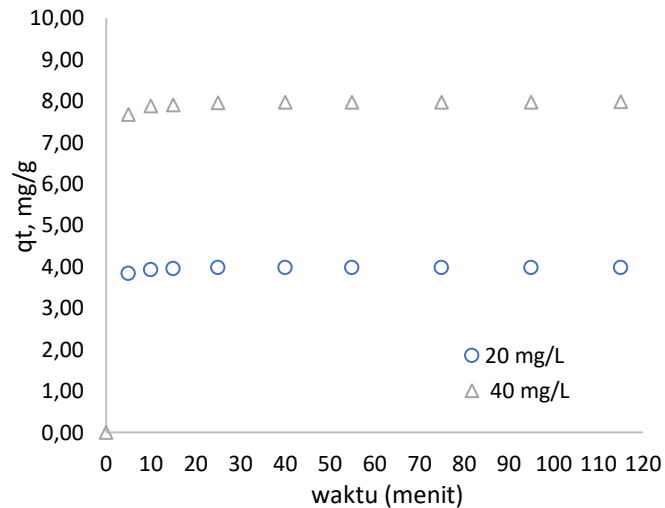


Gambar 4. Kapasitas penyerapan MB menggunakan karbon aktif dari ampas tebu

Gambar 4 memperlihatkan bahwa konsentrasi metilen biru meningkat seiring dengan bertambah berat adsorben, hal ini dikarenakan masih banyaknya situs-situs yang kosong yang tersedia pada permukaan karbon, sehingga penyerapan metilena biru

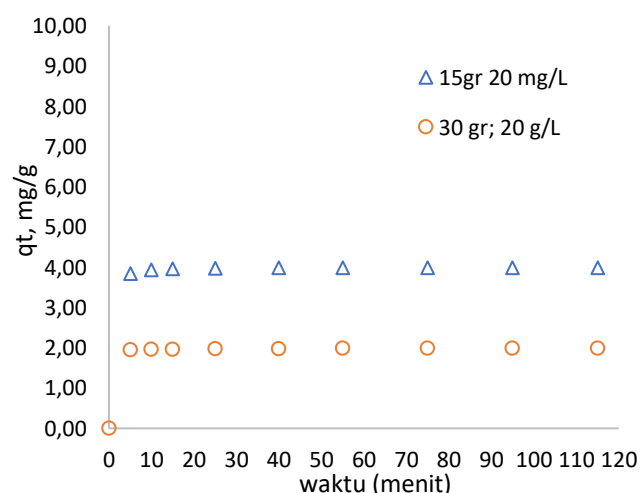
terus meningkat hingga mencapai kadar maksimumnya, yaitu sebesar 99.76% untuk konsentrasi mula-mula metilen biru 40 mg/L.

Pengaruh Konsentrasi dan Berat Adsorben MB. Gambar 5 memperlihatkan pengaruh konsentrasi dan berat adsorben terhadap proses penyerapan MB yang menggunakan konsentrasi awal 20 dan 40 mg/L.



Gambar 5. Pengaruh perbedaan konsentrasi terhadap penyerapan MB menggunakan massa adsorben 15 gr

Gambar 5 menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan metilena biru semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal metilena biru. Meningkatnya jumlah penyerapan ini dipengaruhi oleh besarnya daya dorong (*driving force*) yang diberikan. Selain dari itu, Gambar 5 juga memperlihatkan interaksi antara adsorbat dengan adsorben, dimana pada lima menit pertama penyerapan sangat cepat, kemudian melandai sampai konstan walaupun waktu diberikan sampai 120 menit lamanya.

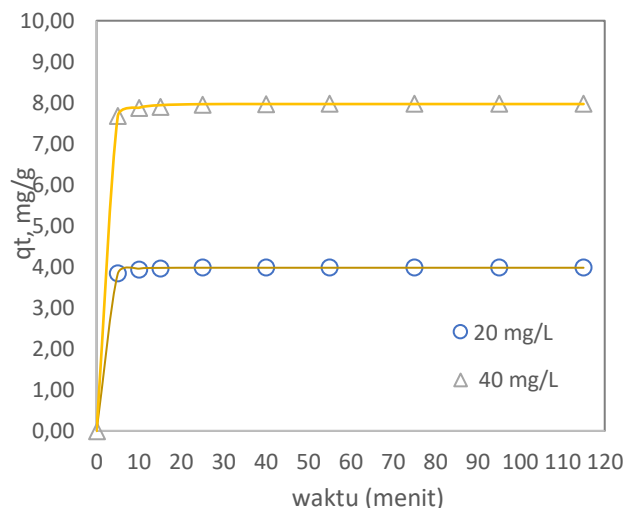


Gambar 6. Pengaruh berat adsorben dengan konsentrasi adsorbat 20 mg/L

Gambar 6 terlihat bahwa semakin besar rasio massa karbon aktif terhadap konsentrasi MB dalam larutan, maka laju adsorpsi semakin meningkat. Hal ini dikarenakan

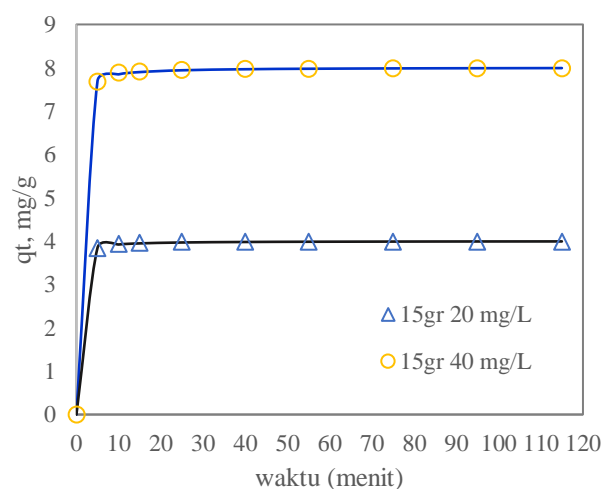
pengaruh dari luas bidang kontak (luas bidang penyerapan) antara adsorben dan adsorbat menjadi lebih besar, sehingga kesempatan metilen biru yang hinggap di situs karbon aktif lebih banyak. Gambar 6 juga memperlihatkan mekanisme penyerapan yang mengikuti kurva yang tunggal, mulus dan kontinyu mengarah ke saturasi, sehingga proses adsorpsi terjadi secara monolayer pada permukaan adsorben.

Kinetika Adsorpsi. Upaya untuk mendapatkan informasi tentang mekanisme kinetika adsorpsi larutan MB ke karbon aktif yang diproses dari ampas tebu maka digunakan 3 jenis model kinetika adsorpsi yaitu *pseudo first orde* (PFO), *pseudo second orde* (PSO) dan intrapartikel model.



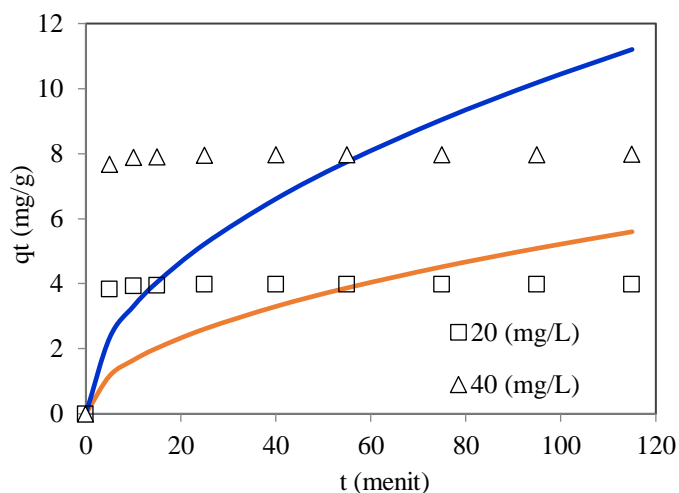
Gambar 7. Adsorpsi MB untuk berbagai konsentrasi pada karbon aktif menggunakan model PFO

Gambar 7 terlihat bahwa data eksperimen yang diperoleh tidak mampu dijelaskan dengan baik oleh model PFO. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model PFO yang dikemukakan oleh Lagergren (1898) tidak memenuhi asumsi, bahwa penyerapan hanya terjadi pada *site* lokal dan tidak melibatkan interaksi ion yang diserap dan energi adsorpsi tidak tergantung pada permukaan yang ditutupi.



Gambar 8. Adsorpsi MB pada karbon aktif menggunakan model PSO untuk berbagai konsentrasi

Gambar 8 memaparkan bahwa model kinetika PSO mampu memprediksikan dengan baik mekanisme adsorpsi MB yang menggunakan karbon aktif dari ampas tebu sebagai adsorben. Hasil analisis dengan menggunakan model PSO memberikan nilai koefisien korelasi (R^2) yang lebih tinggi daripada model PFO, dan didukung juga oleh sangat dekatnya antara nilai $q_{e,exp}$ dengan nilai $q_{e,calc}$.



Gambar 9. Adsorpsi MB pada karbon aktif menggunakan model difusi intrapartikel

Plot Weber-Morris (difusi intrapartikel) untuk adsorpsi MB disajikan pada Gambar 9. Penyesuaian plot (*curve fitting*) antara data eksperimen dengan data model terjadi penyimpangan yang sangat jauh, hal ini mengindikasikan bahwa model intrapartikel juga tidak mampu menggambarkan peristiwa kinetika adsorpsi MB terhadap karbon aktif dari ampas tebu dengan baik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa difusi intrapartikel bukanlah langkah pengontrol untuk adsorpsi seperti yang diinvestigasikan di sini, atau derajat kontrol difusi film dan difusi intrapartikel bukanlah satu-satunya penentu laju [7].

Tabel 2. Parameter kinetika adsorpsi untuk berat adsorben 15 gram

Model	Parameter	20 mg/L	40 mg/L
Orde satu semu (PFO)	$Q_{e,Exp}$ (mg/g)	3,985	7,983
	$Q_{e,Cal}$ (mg/g)	3,978	7,969
	k_1 (min^{-1})	0,381	0,240
	R^2	0,9991	0,9996
Orde dua semu (PSO)	$Q_{e,Exp}$ (mg/g)	3,985	7,983
	$Q_{e,Cal}$ (mg/g)	4,001	8,007
	k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	1,249	0,619
	R^2	0,9996	0,9997
Difusi Intrapartikel	$Q_{e,Exp}$ (mg/g)	3,985	7,983
	C (mg/g)	1,000	1,000
	k_{id} ($\text{min}^{0.5}$)	0,522	1,045
	R^2	0,4730	0,4735

Tabel 2 dan 3 memperlihatkan distribusi besaran nilai konstanta yang didapat dari masing-masing parameter untuk berbagai model yang menggunakan berat adsorben yang berbeda (15 dan 30 gram). Dilihat dari tingginya nilai koefisien korelasi (R^2) dan kedekatnya nilai $q_{e,Exp}$ dengan $q_{e,Cal}$ maka model orde satu semu agak kurang sesuai dibandingkan model orde dua semu. Hasil uji dengan menggunakan model orde kedua semu memberikan nilai koefisien korelasi (R^2) yang lebih tinggi daripada model orde pertama semu, dan didukung pula oleh sangat dekatnya nilai $q_{e,exp}$ dengan nilai $q_{e,calc}$. Pemodelan menggunakan model orde satu semu memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar $\geq 0,9868$, sedangkan untuk model persamaan orde dua semu memiliki nilai (R^2) sebesar $\geq 0,9988$. Dari data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi yang berlangsung pada penelitian ini melibatkan interaksi secara kimia (*chemisorption*) dan interaksi secara fisika (*physisorption*) antara adsorben dan adsorbat pada permukaan terjadi bersamaan [8].

Tabel 3. Parameter kinetika adsorpsi untuk berat adsorben 30 gram

Model	Parameter	20 mg/L	40 mg/L
Orde satu semu (PFO)	$Q_{e,Exp}$ (mg/g)	1,992	3,986
	$Q_{e,Cal}$ (mg/g)	1,979	3,986
	k_1 (min^{-1})	0,709	3,959
	R^2	0,9964	0,9868
Orde dua semu (PSO)	$Q_{e,Exp}$ (mg/g)	1,992	3,986
	$Q_{e,Cal}$ (mg/g)	1,987	4,000
	k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	4,423	1,260
	R^2	0,9988	0,9997
Difusi Intrapartikel	$Q_{e,Exp}$ (mg/g)	1,992	3,986
	C (mg/g)	1,000	1,000
	k_{id} ($\text{min}^{0.5}$)	0,260	0,522
	R^2	0,4716	0,4731

Mencermati nilai k_{id} seperti yang ditabulasikan dalam Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa nilai k_{id} meningkat dengan meningkatnya konsentrasi zat warna MB, hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya daya dorong (*driving force*) dari sistem adsorbat-adsorben. Pada difusi intrapartikel nilai koefisien korelasinya (R^2) yang sangat rendah, yaitu berada dalam rentang nilai 0,4730 hingga 0,4735 maka hal ini menunjukkan bahwa mekanisme difusi intra-partikel bukan faktor pengontrol dalam proses penghilangan zat warna MB dari larutannya untuk semua konsentrasi yang dipelajari.

Kesimpulan

Karakterisasi karbon aktif dari ampas tebu teraktivasi memiliki kadar air 2,82%, kadar abu 7,8%, kadar karbon terikat 89,35% (sesuai dengan SNI) efisiensi adsorpsi sebesar 99,79% dan 99,66% dengan massa adsorben 15 gr dan 30 gr. Kondisi optimum yang dibutuhkan oleh karbon aktif dari ampas tebu untuk menyerap metilen biru terjadi pada pH 7. Fenomena adsorpsi metilen biru dengan karbon aktif dari ampas tebu mengikuti model *pseudo second orde* (PSO) dan didukung oleh tingginya nilai koefisien korelasinya, $R^2 > 0.9996$, yang kemudian diikuti oleh model PFO, sementara model Weber-Morris (difusi intrapartikel) tidak mampu menyesuaikan data eksperimen

dengan data model dengan baik. Maka proses kinetika adsorpsi yang berlangsung pada penelitian ini terjadi secara kimia (*chemisorption*).

Daftar Pustaka

- [1] O. Hamdaoui and M. Chiha, "Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran," *Acta Chim. Slov.*, vol. 54, pp. 407–418, Jan. 2007.
- [2] E. Budi, Umiatin, H. Nasbey, R. A. Bintoro, F. Wulandari, and Erlina, "Activated coconut shell charcoal carbon using chemical-physical activation," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1712, no. February 2016, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1063/1.4941886.
- [3] Asbahani, "Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai karbon aktif untuk menurunkan kadar besi pada air sumur," *J. Tek. Sipil UNTAN*, vol. 13, no. 1, pp. 105–114, 2013.
- [4] E. Hermiati, D. Mangunwidjaja, T. C. Sunarti, and O. Suparno, "Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol," *J. Litbang Pertan.*, vol. 29, no. 4, pp. 121–130, 2010.
- [5] N. Ngatijo, N. Gusmaini, R. Bemis, and R. Basuki, "Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika," *CHEESA Chem. Eng. Res. Artic.*, vol. 4, no. 1, p. 51, 2021, doi: 10.25273/cheesa.v4i1.8433.51-64.
- [6] Y. Kondo and M. Arsyad, "Analisis Kandungan Lignin, Sellulosa, dan Hemisellulosa Serat Sabut Kelapa Akibat Perlakuan Alkali," *INTEK J. Penelit.*, vol. 5, no. 2, p. 94, 2018, doi: 10.31963/intek.v5i2.578.
- [7] A. Yadav, A. Pawan Kumar, and M. Tech, "Enhancement in Efficiency of Pv Cell Through P&O Algorithm," *Int. J. Technol. Res. Eng.*, vol. 2, no. 11, pp. 2347–4718, 2015, [Online]. Available: www.ijtre.com
- [8] B. Haryanto, W. K Sinaga, and F. T Saragih, "Kajian Model Interaksi pada Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd²⁺) dengan Menggunakan Adsorben dari Pasir Hitam," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 8, no. 2, pp. 79–84, 2019, doi: 10.32734/jtk.v8i2.2032.