

THE KINETIC STUDY OF METHYLENE BLUE ADSORPTION USING THE RED FRUIT (PANDANUS CONOIDEUS) WASTE BIOCHAR

Yuni Rosita, Ahmad Tawfieurrahman Yuliansyah*, Rochim Bakti Cahyono

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia

* E-mail corresponding author: atawfieur@ugm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history: Received: 28-12-2021 Received in revised form: 30-03-2022 Accepted: 01-04-2022 Published: 03-04-2022	<i>Methylene blue is one of the dyes often used in the textile industry. This dye is toxic which causes environmental pollution and health problems for humans and animals. In this research, adsorption of methylene blue dye was carried out by using an adsorbent in the form of red fruit waste biochar in concentration variations (50, 100, and 150 ppm) and contact times (0, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 minutes). The kinetics review modeling was based on the pseudo first order and pseudo second order to determine the adsorption capacity of methylene blue with red fruit waste biochar. The adsorption equation was evaluated using the Langmuir adsorption isotherm and the Freundlich adsorption isotherm. The results showed that the most suitable adsorption equilibrium model followed the Langmuir adsorption isotherm with an equilibrium constant (K) is 0.0510 and the maximum adsorption capacity (Qm) is 0.0048 mg/g. The kinetics model of the methylene blue adsorption reaction based on the pseudo second order with the value of k is 0.6973 min⁻¹ and a relation coefficient value of R² = 1.</i>
Keywords: Adsorption kinetics Methylene blue Red fruit waste Biochar	

STUDI KINETIKA ADSORPSI METHYLENE BLUE DENGAN BIOCHAR AMPAS BUAH MERAH (PANDANUS CONOIDEUS)

Abstrak- *Methylene blue* merupakan salah satu zat warna yang sering digunakan pada industri tekstil. Zat warna ini bersifat racun yang mengakibatkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan bagi manusia maupun hewan. Pada penelitian ini, adsorpsi zat warna *methylene blue* dilakukan dengan menggunakan adsorben berupa *biochar* ampas buah merah. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari model kinetika pada proses adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah dalam berbagai variasi konsentrasi (50, 100, dan 150 ppm) dan waktu kontak (0, 20, 40, 60, 80, 100, dan 120 menit). Pemodelan tinjauan kinetika didasarkan pada *pseudo first order* dan *pseudo second order* untuk menentukan kapasitas adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah. Persamaan adsorpsi dievaluasi menggunakan isotherm adsorpsi Langmuir dan isotherm adsorpsi Freundlich. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model kesetimbangan adsorpsi yang paling sesuai mengikuti isotherm adsorpsi Langmuir dengan nilai konstanta kesetimbangan (K) sebesar 0,0510 dan kapasitas penjerapan maksimum (Qm) sebesar 0,0048 mg/g. Model kinetika reaksi adsorpsi *methylene blue* sesuai dengan *pseudo second order* dengan nilai k yaitu 0,6973 min⁻¹ dan nilai koefisien relasi R² = 1.

Kata kunci : kinetika adsorpsi, *methylene blue*, ampas buah merah, *biochar*

PENDAHULUAN

Buah merah merupakan tanaman endemik khas Papua. Tanaman buah merah bagi masyarakat lokal memiliki beberapa manfaat diantaranya sebagai bahan dasar obat dan minyak makanan (Wawo et al., 2019). Kandungan zat-zat alami pada buah merah dapat menyembuhkan berbagai jenis

penyakit dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh manusia. Zat alami tersebut antara lain karotenoid, betakaroten, asam oleat, asam linoleat, alfa tokoferol, dan dekanot. Berdasarkan data Dinas Tanaman Pangan dan Holikultura Provinsi Papua pada tahun 2020 salah satu daerah penghasil buah merah yaitu Kabupaten Jayapura kecamatan

Sentani memproduksi 237,42 ton dengan luas lahan 50,3 Ha (Kere et al., n.d.). Umumnya pertumbuhan buah merah menyebar di seluruh tanah Papua, baik dataran rendah maupun dataran tinggi (Sarungallo et al., 2019). Masyarakat Papua sering mengonsumsi buah merah dalam bentuk minyak buah merah. Pada proses pembuatan minyak buah merah dihasilkan sejumlah limbah berupa ampas buah merah yang cukup banyak (Amalia & Hakim, 2015). Penanganan limbah ampas buah merah yang tepat sangat diperlukan karena ampas buah merah merupakan limbah bahan organik yang mudah membusuk.

Ampas buah merah merupakan limbah lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, diantaranya sebagai *biochar*. Biochar umumnya diproduksi melalui proses pirolisis. Salah satu pemanfaatan *biochar* adalah sebagai adsorben limbah cair, untuk mengatasi pencemaran lingkungan (Fu et al., 2015).

Pencemaran lingkungan akibat industri kimia menjadi masalah yang serius. Salah satunya adalah industri tekstil yang menghasilkan limbah cair yang bersifat toksik sehingga menurunkan kualitas lingkungan. Salah satu limbah zat warna yang sering digunakan adalah *methylene blue*.

Methylene blue merupakan limbah zat warna yang bersifat kationik dan berbahaya bagi lingkungan (Hao et al., 2000). *Methylene blue* dapat berdampak terhadap kesehatan seperti sesak, mual, muntah, dan diare apabila terhirup serta dapat mengakibatkan cacat pada manusia maupun hewan apabila terkena mata (Mahmoud et al., 2010). Salah satu teknologi untuk mengatasi masalah pencemaran *methylene blue* adalah metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses penanganan limbah cair yang efektif, murah dan mudah dioperasikan (Doğan et al., 2009).

Pada penelitian ini, ampas buah merah digunakan sebagai bahan baku pembuatan *biochar* melalui proses pirolisis yang akan diaplikasikan sebagai adsorben *methylene blue*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari model kinetika yang sesuai dengan proses adsorpsi *methylene blue* pada *biochar* ampas buah merah dalam berbagai variasi konsentrasi *methylene blue* dan waktu kontak.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Teknologi Minyak Bumi, Gas, dan Batu Bara Departemen Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ampas buah merah, *methylene blue*, aquadest, larutan KOH 1.5 M, kertas saring, dan aluminium foil. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, oven, neraca analitik, *hot plate*, dan *magnetic stirrer*. Selain itu,

peralatan instrument yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis.

Pembuatan Biochar.

Ampas buah merah yang telah dikeringkan dibawah sinar matahari ditimbang sebanyak 500 gram. Selanjutnya sampel dipirolisis dengan cara dipanaskan pada suhu 450 °C selama 2 jam. Setelah proses pirolisis, *biochar* yang dihasilkan dihaluskan dan diayak dengan ukuran 50 mesh. Biochar di aktivasi dengan larutan KOH 1,5 M selama 2 jam dan disaring menggunakan pompa vakum. Setelah dicuci hingga pH filtrat netral, *biochar* hasil aktivasi dikeringkan pada suhu 105 °C selama 4 jam untuk menghilangkan kadar airnya.

Penentuan Waktu Kontak Optimum Biochar Ampas Buah Merah terhadap Penurunan Kadar Methylene Blue

Waktu kontak optimum *biochar* ampas buah merah ditentukan dengan menggunakan metode adsorpsi terhadap larutan *methylene blue*. Untuk menentukan panjang gelombang maksimum *methylene blue* dibuat larutan standar dengan konsentrasi 0, 1, 2, 4, dan 8 ppm sebanyak 50 mL. Selanjutnya diukur nilai absorbansi filtratnya dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mendapatkan kurva standar konsentrasi *methylene blue*.

Penentuan Kinetika Adsorpsi Methylene Blue

Untuk menentukan kinetika adsorpsi *methylene blue* dilakukan dengan menyiapkan 7 buah erlenmeyer 250 mL, masing-masing diisi dengan 0,5 gram biochar yang teraktivasi dengan menambahkan 200 mL larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 50, 100, dan 150 ppm. Campuran tersebut diaduk menggunakan *waterbath shaker* selama 0, 20, 40, 60, 80, 100, dan 120 menit pada suhu kamar. Setelah selesai proses adsorpsi filtratnya disaring dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mendapatkan data absorbansi. Analisis kinetika didasarkan pada pemodelan *pseudo first order* dan *pseudo second order*. Pemodelan *pseudo first order* menggambarkan mekanisme adsorpsi dengan laju yang cepat dengan rentang waktu yang pendek. Model *pseudo first order* dapat dihitung dengan persamaan 1 (Muhammad et al., 2021).

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_t t \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

q_e dan q_t = Jumlah *methylene blue* yang terjerap saat setimbang pada waktu tertentu (mg/g)

k = laju konstanta (min^{-1})

Pemodelan *pseudo second order* menggambarkan mekanisme adsorpsi pada rentang waktu yang relatif panjang dengan proses yang lambat. Model *pseudo second order* dapat dihitung dengan persamaan 2 (Muhammad et al., 2021).

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

Keterangan :

q_e dan q_t = Jumlah *methylene blue* yang terjerap saat setimbang pada waktu tertentu (mg/g)

k_2 = laju konstanta orde 2 (min^{-1})

Penentuan Isoterm adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi dapat dipelajari dengan mekanisme adsorpsi sesuai perubahan konsentrasi *methylene blue* (Ristianingsih et al., 2020). Pada kondisi setimbang terjadi distribusi larutan antara fase cair dengan fase padat. Pada umumnya jumlah adsorbat yang terjerap sejalan dengan bertambahnya konsentrasi namun hal tersebut tidak selalu berbanding lurus (Masruhin et al., 2018).

Isoterm Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir menggambarkan adsorpsi kimia. Pada Isoterm adsorpsi Langmuir diasumsikan bahwa adsorpsi hanya berlangsung pada situs yang homogen dengan sejenis molekul yang menempati satu jenis (*monolayer*). Sehingga, molekul yang teradsorpsi tidak bebas bergerak pada permukaan (Darmansyah, 2015). Isoterm adsorpsi Langmuir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K C_e} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

C_e = Konsentrasi adsorbat (mg/L)

q_e = Zat yang teradsorpsi (mg/g)

q_m = Kapasitas monolayer maksimum (mg/g)

K = Konstanta isoterm Langmuir

Isoterm Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich merupakan isoterm yang menggambarkan adsorpsi yang terjadi pada beberapa lapis (*multilayer*) dari permukaan molekul-molekul adsorbat pada permukaan adsorben. Isoterm adsorpsi Freundlich terjadi pada situs yang bersifat heterogen dengan mekanisme adsorpsi secara fisis (Nafi'ah R., 2016). Bentuk persamaan isoterm adsorpsi Freundlich adalah

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

K = Konstanta isoterm Freundlich (mg/g)

n = Intensitas adsorpsi

C_e = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat

q_e = Jumlah zat yang teradsorpsi

Perhitungan Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e) v}{w} \dots\dots\dots (5)$$

keterangan :

Q_e = kapasitas adsorpsi (mg/g)

w = berat sampel yang digunakan (g)

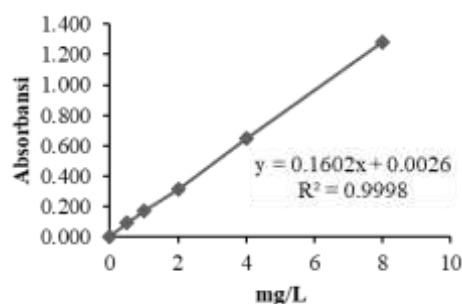
C_o = konsentrasi awal *methylene blue* awal (mg/L)

C_e = konsentrasi akhir *methylene blue* akhir (mg/L)

v = volume larutan *methylene blue* yang digunakan (mL)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan panjang gelombang maksimum untuk larutan *methylene blue* menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 0, 1, 2, 4, dan 8 ppm menghasilkan panjang gelombang maksimum pada 664 nm. Konsentrasi larutan *methylene blue* terhadap absorbansi dapat dilihat pada gambar 1.

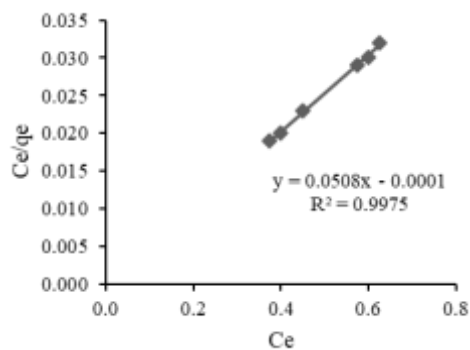


Gambar 1. Kurva Kalibrasi Larutan *Methylene Blue*

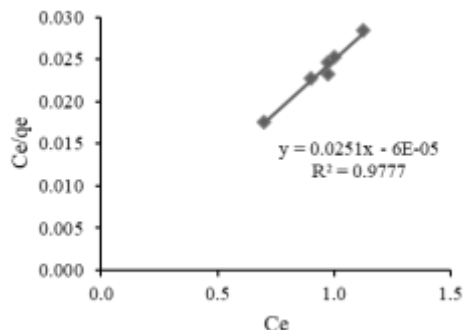
Persamaan regresi kurva standar *methylene blue* antara nilai absorbansi dan konsentrasi dapat dinyatakan dengan persamaan $y = a + bx$, dimana y adalah absorbansi sebagai fungsi untuk mencari konsentrasi setelah adsorpsi *methylene blue* dan x adalah konsentrasi. Berdasarkan data perhitungan persamaan regresi linier larutan standar *methylene blue* yang didapatkan adalah $y = 0,1602x + 0,0026$ dengan $R^2 = 0,9998$. Harga R yang mendekati 1 dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien korelasi.

Isoterm Adsorpsi

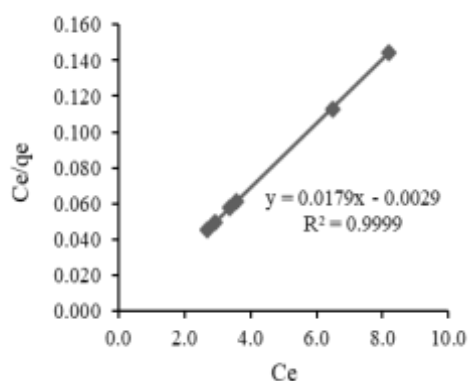
Isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah. Tipe isoterm adsorpsi untuk proses penyerapan *methylene blue* oleh *biochar* ampas buah merah dilakukan dengan perhitungan persamaan Langmuir dan Freundlich. Pengujian persamaan adsorpsi Langmuir dan persamaan adsorpsi Freundlich dibuktikan dengan grafik yang mempunyai harga koefisien determinasi $R^2 = 1$ atau mendekati angka 1. Data perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir dengan menggunakan grafik linierisasi ditunjukkan pada gambar 2 - 4.



Gambar 2. Kurva Isoterm Langmuir pada konsentrasi 50 ppm

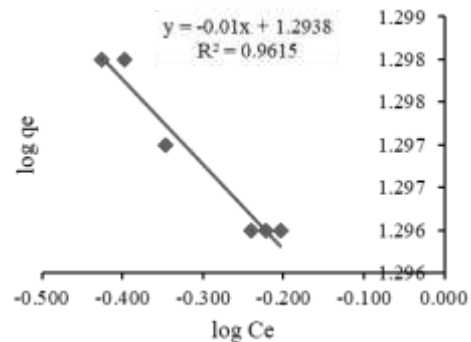


Gambar 3. Kurva Isoterm Langmuir pada konsentrasi 100 ppm

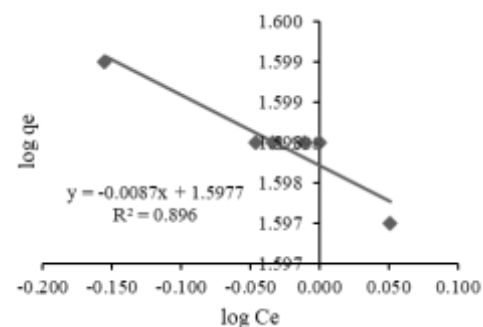


Gambar 4. Kurva Isoterm Langmuir pada konsentrasi 150 ppm

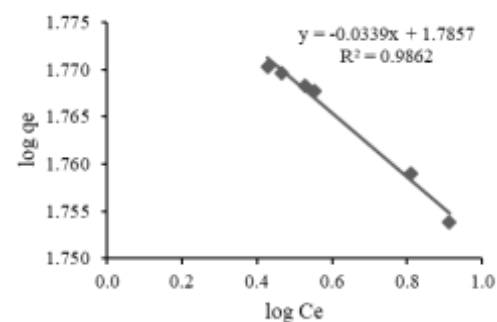
Berdasarkan grafik persamaan isoterm Langmuir diatas menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi R^2 yaitu 0,9975, 0,9777 dan 0,9999 pada konsentrasi 50, 100 dan 150 ppm. Harga R^2 yang didapatkan sangat tinggi atau mendekati angka 1 sehingga dapat disimpulkan adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah dapat mengikuti isoterm Langmuir. Grafik persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada gambar 5-7.



Gambar 5. Kurva Isoterm Freundlich pada konsentrasi 50 ppm



Gambar 6. Kurva Isoterm Freundlich pada konsentrasi 100 ppm



Gambar 7. Kurva Isoterm Freundlich pada konsentrasi 150 ppm

Pada penelitian adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah pada grafik kurva isoterm Freundlich menunjukkan nilai koefisien korelasi R^2 yang masih rendah

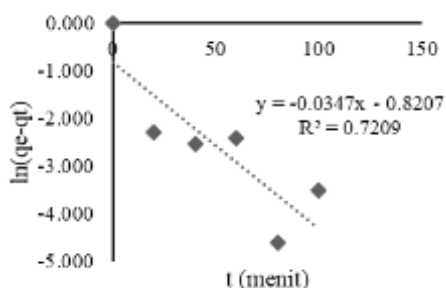
dibandingkan dengan isoterm adsorpsi Langmuir. Berdasarkan kedua tipe persamaan isoterm adsorpsi dapat disimpulkan bahwa adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah sesuai dengan isoterm Langmuir. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah mampu mencapai kesetimbangan pada lapisan permukaan dengan larutan yang bersifat *reversible* karena adsorpsi ini dilakukan terhadap lapisan tunggal dengan situs bersifat homogen yang menggambarkan pengisian satu situs oleh satu molekul pada permukaan padatan (Lisa, 2015). Model Persamaan isoterm Freundlich mengasumsikan terdapat beberapa lapisan permukaan (*multilayer*) dan situs yang bersifat heterogen yaitu tiap situs terdapat perbedaan energi interaksi antara adsorbat dengan adsorben (Astuti, 2018). Oleh karena itu, Model isoterm Langmuir dapat digunakan untuk kesetimbangan pada tiap situs. Persamaan isoterm Langmuir yang diperoleh berupa *slope* (konstanta kesetimbangan Langmuir) dan *intercept* (kapasitas penjerapan maksimum) yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Konstanta Kesetimbangan dan Kapasitas penjerapan maksimum pada persamaan Isoterm Langmuir

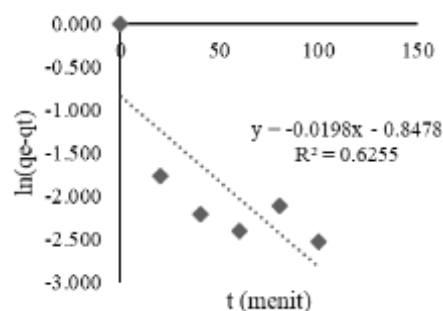
Konsentrasi <i>Methylene Blue</i> (ppm)	Isoterm Langmuir	
	K	Qm
50	0,0510	0,0048
100	0,0250	0,0080
150	0,0179	0,1602

Kinetika Reaksi

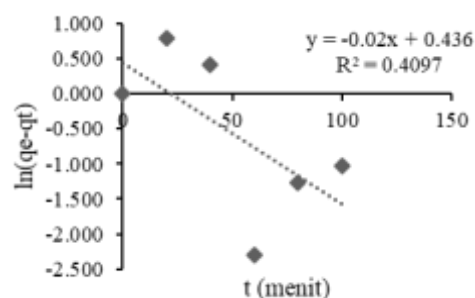
Kinetika adsorpsi yang diperoleh secara empiris menggunakan model *pseudo first order* dan *pseudo second order*. Model kesetimbangan dapat diuji dengan menentukan model kesetimbangan yang sesuai pada suatu penelitian. Harga koefisien korelasi (R^2) digunakan untuk menentukan model kesetimbangan. Adapun grafik hasil data dan perhitungan dari *pseudo first order* dan *pseudo second order* berturut-turut dapat dilihat pada gambar 8-10.



Gambar 8. Kurva *Pseudo first order* pada konsentrasi 50 ppm



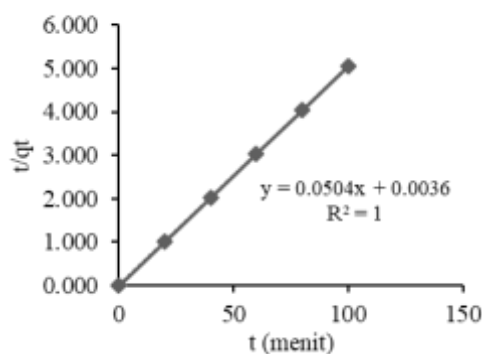
Gambar 9. Kurva *Pseudo first order* pada konsentrasi 100 ppm



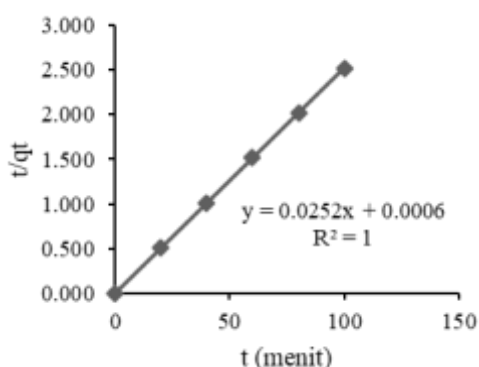
Gambar 10. Kurva *Pseudo first order* pada konsentrasi 150 ppm

Pada gambar 8-10 dapat dilihat model *pseudo first order*. Berdasarkan data adsorpsi *methylene blue* pada berbagai waktu dan konsentrasi dapat dievaluasi kinetika yang sesuai. Nilai koefisien korelasi R^2 pada adsorpsi *methylene blue* pada konsentrasi 50, 100, dan 150 ppm secara berturut-turut yaitu 0,7209, 0,6255 dan 0,4097. Dilihat dari Harga R^2 yang didapat cukup rendah, maka model kinetika *pseudo first order* belum cukup sesuai dengan proses adsorpsi *methylene blue* yang ditinjau.

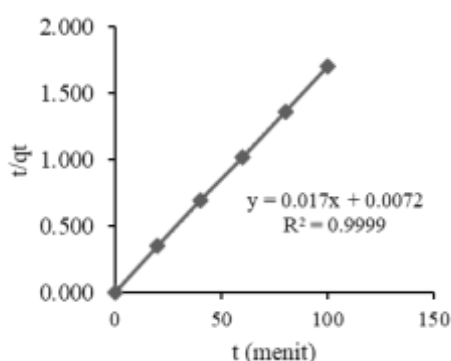
Model *pseudo second order* pada adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah dapat dilihat pada gambar 11-13.



Gambar 11. Kurva *Pseudo Second order* pada konsentrasi 50 ppm



Gambar 12. Kurva *Pseudo Second order* pada konsentrasi 100 ppm



Gambar 13. Kurva kinetika *Pseudo Second order* pada konsentrasi 150 ppm

Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang diperoleh $R^2 = 1,00$ untuk konsentrasi 50, 100, dan 150 ppm pada berbagai waktu menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi *methylene blue* sesuai dengan sistem ini. Model kinetika yang sesuai dapat dilihat pada model yang memberikan koefisien determinasi (R^2) mendekati 1 (Farida Hanum et al., 2017). Data perhitungan selengkapnya disajikan nilai konstanta laju adsorpsi (k) pada tabel 2.

Tabel 2. Konstanta Kecepatan Adsorpsi (k) pada berbagai konsentrasi (50, 100, dan 150 ppm)

Konsentrasi <i>Methylene</i> <i>Blue</i> (ppm)	<i>Pseudo-first-order Kinetic</i>		<i>Pseudo-second-order Kinetic</i>	
	k	R^2	k	R^2
50	0,0347	0,7209	0,6973	1
100	0,0198	0,6255	1,1395	1
150	0,0200	0,4097	0,0403	0,9999

Data perhitungan pada tabel 2 menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 , model kinetika yang paling cocok adalah *pseudo second order*. Model kinetika *pseudo second order* menggambarkan mekanisme adsorpsi yang membutuhkan waktu relatif lama untuk mencapai kesetimbangan. Persamaan model kinetika *pseudo second order*

menunjukkan nilai k paling besar dicapai pada konsentrasi 100 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa harga konstanta kecepatan adsorpsi (k) dipengaruhi oleh konsentrasi *methylene blue*. Terjadi penurunan harga k pada konsentrasi 150 ppm. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh lapisan film pada partikel *biochar* ampas buah merah semakin tebal sehingga proses difusi di lapisan film semakin menurun dan akan membuat proses adsorpsi berlangsung semakin lambat.

KESIMPULAN

Adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah menunjukkan model kesetimbangan isoterm yang sesuai adalah adsorpsi Langmuir, dengan kemampuan adsorpsi paling baik dengan nilai konstanta kesetimbangan (K) adalah 0,0510 dan kemampuan penyerapan maksimum (Q_m) yaitu 0,0048. Kinetika adsorpsi *methylene blue* dengan *biochar* ampas buah merah mengikuti model *pseudo second order* pada berbagai variasi konsentrasi dan waktu kontak.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, L., & Hakim, D. L. 2015. Pemanfaatan Ampas Buah Merah Untuk Pembuatan Dodol the Use of Red Fruit Waste for Making Dodol Lunkhead. Vol. 92–97.
- Astuti, W. 2018. Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa. In Unnes Press.
- Darmansyah. 2015. Pemodelan Adsorpsi Biogas Dengan Metode Ono-Kondo dan Langmuir Kondo Dan Langmuir Pada Material Aluminasilikat Mcm -41.
- Doğan, M., Abak, H., & Alkan, M. 2009. Adsorption of methylene blue onto hazelnut shell: Kinetics, mechanism and activation parameters. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), Vol. 172–181.
- Farida Hanum, Rikardo Jgst Gultom, & Maradona Simanjuntak. 2017. Adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif dari kulit durian menggunakan KOH dan NaOH sebagai aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), Vol. 49–55.
- Fu, J., Chen, Z., Wang, M., Liu, S., Zhang, J., Zhang, J., Han, R., & Xu, Q. 2015. Adsorption of methylene blue by a high-efficiency adsorbent (polydopamine microspheres): Kinetics, isotherm, thermodynamics and mechanism analysis. *Chemical Engineering Journal*, 259, Vol. 53–61.
- Hao, O. J., Kim, H., & Chiang, P. C. 2000. Decolorization of wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30(4), Vol. 449–505.
- Kere, M., Indriani, R., & Bakari, Y. (n.d.). Di distrik

- sentani kabupaten jayapura (Studi Kasus Pada Perusahaan CV. Budi Mulya Asih).
- Lisa, M. 2015. Uji persamaan langmuir dan freundlich pada penyerapan mn(ii) oleh komposit Fe_3O_4 -zeolit. *Jurnal Dampak*, 12(2), Vol. 114.
- Mahmoud, M., El-Latif, A., Abd El-Latif, M. M., Ibrahim, A. M., & El-Kady, M. F. 2010. Adsorption Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of Methylene Blue from Aqueous Solutions Using Biopolymer Oak Sawdust Composite Water desalination View project Construction of Magnetic Materials Laborstory View project Adsorption Equilibrium, kinetics. *Journal of American Science*, 6(6), Vol. 1–18.
- Masruhin, M., Rasyid, R., & Yani, S. 2018. Penjerapan logam berat timbal (Pb) dengan menggunakan lignin hasil isolasi jerami padi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), Vol. 6.
- Muhammad, M., Meriatna, M., Afriani, N., & Mulyawan, R. 2021. Oyster Shell Waste (*Crassostrea Gigas*) as A Cheap Adsorbent for Adsorption Of Methylene Blue Dyes: Equilibrium and Kinetics Studies. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, 1(4), Vol. 95–102.
- Nafi'ah R. 2016. Kinetika adsorpsi Pb (II) dengan adsorben arang aktif dari sabut siwalan kinetics adsorption of Pb (II) by siwalan fibeR. *Jurnal Farmasi Sains Dan Praktis*, I(2), Vol. 28–37.
- Ristianingsih, Y., Istiani, A., & Irfandy, F. 2020. Keseimbangan Adsorpsi Zat Warna Metilen Blue dengan Adsorben Karbon Aktif Tongkol Jagung Terimpregnasi Fe_2O_3 . *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 7(1), Vol. 47–55.
- Sarungallo, Z. L., Hariyadi, P., Andarwulan, N., & Purnomo, E. H. 2019. Keragaman Karakteristik Fisik Buah, tanaman dan Rendemen Minyak dari 9 Klon Buah Merah (*Pandanus conoideus*). *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 12(1), Vol. 70.
- Wawo, A. H., Lestari, P., & Setyowati, N. 2019. Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lamk) Bioresources Pegunungan Tengah Papua : Keanekaragaman dan Upaya Konservasinya (The red fruit (*Pandanus conoideus* Lamk) is one of the bioresources at the Central Highlands Region of Papua : Diversity and Conservat. *Jurnal Biologi Indonesia*, 15(1), Vol. 107–121.