

## Studi Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Penyisihan Warna Air Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit

Adyana Syukur<sup>1\*</sup>, Shinta Indah<sup>2</sup>, Puti Sri Komala<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, 25175, Indonesia

\*Corresponding author, e-mail: 74adyanasyukur@gmail.com

Received 22<sup>th</sup> Feb 2023; 1<sup>st</sup> Revision 14<sup>th</sup> March 2023; Accepted 27<sup>th</sup> March 2023

### ABSTRAK

*Keberadaan warna dalam air limbah pabrik minyak kelapa sawit dapat mengganggu dan mengurangi estetika lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan abu tandan kosong kelapa sawit untuk menyisihkan warna dari air limbah polishing pond IPAL pabrik minyak kelapa sawit dan menentukan model kinetika serta isoterm adsorpsi yang sesuai. Percobaan adsorpsi dilakukan secara batch untuk mendapatkan kondisi optimum meliputi dosis adsorben, waktu kontak dan konsentrasi adsorbat. Pengukuran konsentrasi warna dilakukan dengan metode spektrofotometri dan uji morfologi permukaan adsorben abu tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode Scanning Electron Microscopy (SEM). Dari hasil penelitian didapatkan dosis adsorben, waktu kontak dan konsentrasi optimum adalah 4 g/L, 120 menit dan 2000 mg/L PtCo. Pada kondisi optimum tersebut didapatkan efisiensi penyisihan adalah 77% dan kapasitas adsorpsi 385 mg PtCo/g. Kinetika adsorpsi warna air limbah pabrik minyak kelapa sawit dengan abu tandan kosong kelapa sawit pada dosis 4 g/L mengikuti model kinetika orde 2 dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,8756. Persamaan isoterm adsorpsi yang lebih sesuai dengan data percobaan adalah Freundlich dengan nilai KF 5926,5234 dan 1/n 3,7728. Hal ini menggambarkan bahwa adsorpsi warna terjadi pada beberapa lapisan (multilayer) dari permukaan adsorben abu tandan kosong kelapa sawit adalah adsorpsi fisika. abu tandan kosong kelapa sawit dapat dijadikan sebagai adsorben untuk menyisihkan warna dari air limbah pabrik minyak kelapa sawit.*

**Kata Kunci:** Isoterm Adsorpsi; Kinetika Adsorpsi; Warna; Air Limbah.

### ABSTRACT

*The presence of color in palm oil mill wastewater can disrupt and reduce environmental aesthetics. This study aims to utilize empty palm oil bunch ash to remove the color from polishing pond wastewater from palm oil mill WWTPs and determine the appropriate kinetic model and adsorption isotherm. Adsorption experiments were carried out in batches to obtain optimum conditions including adsorbent dosage, contact time, and adsorbate concentration. Measurement of color concentration was carried out using the spectrophotometric method and surface morphology test of the adsorbent of empty palm fruit ash adsorbents using the Scanning Electron Microscopy (SEM) method. From the research results, it was found that the adsorbent dose, contact time, and optimum concentration were 4 g/L, 120 minutes, and 2000 mg/L PtCo. Under these optimum conditions, the removal efficiency was 77% and the adsorption capacity was 385 mg PtCo/g. The color adsorption kinetics of palm oil mill wastewater with palm empty fruit bunch ash at a dose of 4 g/L followed a 2nd order kinetics model with an R<sup>2</sup> value of 0.8756. The adsorption isotherm equation that is more in line with the experimental data is Freundlich with KF values of 5926.5234 and 1/n 3.7728. This illustrates that the adsorption of color occurs in several layers (multilayer) from the adsorbent surface of oil palm empty fruit*

*bunch ash is physical adsorption. Empty palm fruit bunch ash can be used as an adsorbent to remove the color from palm oil mill wastewater.*

**Keywords:** Adsorption Isotherm; Adsorption Kinetics; Color; Wastewater.

Copyright © Adyana Syukur, Shinta Indah, Puti Sri Komala

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## PENDAHULUAN

Pada proses produksi minyak kelapa sawit dibutuhkan 5-7,5 ton air bersih untuk mengolah 1 ton Tandani Buah Segar (TBS). Air limbah akan tercipta dari 50% air ini. Air limbah ini jika tidak dikelola dengan baik dapat merusak lingkungan [1]. Berwarna kecoklatan, air limbah pabrik kelapa sawit mengandung residu minyak serta partikel terlarut dan tersuspensi berupa koloid [2]. Pada umumnya pengolahan air limbah pabrik minyak kelapa sawit menggunakan proses biologi anaerob aerob [3]. Efluen yang dihasilkan dari pengolahan yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), Nitrogen total, minyak & lemak dan pH [4]. Adsorpsi dianggap sebagai pengolahan zat warna dalam air limbah yang efektif karena teknologinya sederhana, ekonomis dan ramah lingkungan [4].

Tandan kosong kelapa sawit terbukti dapat dijadikan adsorben pada penyisihan warna pada industri tekstil, penyisihan senyawa fenol dan penyisihan logam. Dalam pemanfaatannya sebagai adsorben, tandan kosong kelapa sawit dapat diaktivasi secara kimia. Hasil pembakaran tandan kosong kelapa sawit atau abu tandan kosong kelapa sawit juga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, karena mengandung senyawa kimia berupa selulosa yang memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai adsorben karena gugus OH dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. [5]. Tandani kosong kelapa sawit sebagai adsorben dapat untuk menyisihkan warna dalam air limbah karet [6]. Proses adsorpsi warna pada tandan kosong kelapa sawit mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua dan isotherm adsorpsi yang cocok adalah model isotherm Langmuir [7].

Kecepatan adsorpsi mempengaruhi kinetika adsorpsi yaitu jumlah zat yang teradsorpsi per satuan waktu [8]. Sementara, isotherm adsorpsi digunakan untuk menentukan mekanisme adsorpsi atau bagaimana molekul yang teradsorpsi akan didistribusikan antara dua fase yaitu cair dan padat. Isotherm adsorpsi Langmuir dan Freundlich adalah model isotherm adsorpsi yang umum diuji untuk mendapatkan gambaran interaksi antara adsorbat dan adsorben [9].

penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan abu tandan kosong kelapa sawit untuk menyisihkan warna pada air limbah pabrik minyak kelapa sawit, yang meliputi penentuan kondisi optimum proses adsorpsi meliputi konsentrasi adsorbat, dosis adsorben dan waktu kontak secara *batch*, kinetika adsorpsi yang sesuai dengan proses adsorpsi dan persamaan isotherm adsorpsi yang sesuai dengan proses adsorpsi warna oleh abu tandan kosong kelapa sawit.

## METODE

Bahan baku adsorben yang digunakan adalah abu tandan kosong kelapa sawit yang didapatkan dari sisa hasil pembakaran tandan kosong kelapa sawit. Persiapan adsorben diawali dengan membersihkan abu dari serabut-serabut yang masih tersisa. Selanjutnya abu tandan kosong kelapa sawit dikering pada temperatur kamar. Bahan analisis warna yang digunakan mengacu pada SNI [10] terdiri dari Aquades, Kalium heksa kloro platinat ( $K_2PtCl_6$ ) pa, Kobal klorida

(CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) pa, Asam klorida (HCl) pa; dan Natrium Hidroksida (NaOH) pa.

Sampel air limbah pabrik minyak kelapa sawit mengacu pada SNI [11] Sampel air limbah diambil pada kolam *polishing/outlet* IPAL Pabrik minyak kelapa sawit yang berkapasitas 60ton TBS olah/jam dan memproduksi secara kontinu. Sampel air limbah dimasukkan ke dalam jerigen 20liter dan disimpan dalam lemari pendingin pada suhu di bawah 4°C untuk digunakan pada analisa. Uji karakteristik air limbah pabrik minyak kelapa sawit dilakukan sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2014 lampiran III tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Minyak Sawit. Konsentrasi awal warna air limbah dibuat dengan melarutkan sampel air limbah pabrik minyak kelapa sawit dengan aquades. Air limbah yang telah ditetapkan konsentrasinya diambil masing-masing sebanyak 250 ml ke dalam 5 (lima) buah erlenmeyer dan ditambahkan adsorben yaitu abu tandan kosong kelapa sawit dengan variasi dosis 4, 8, 12, 16 dan 20 g/L [12]. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan alat *shaker* yang bertujuan mengontakkan air limbah dengan abu tandan kosong kelapa sawit dengan kecepatan aduk 150 rpm. Waktu kontak ditentukan dengan variasi 30, 60,120,180 dan 240 menit.

Efisiensi penyisihan merupakan penurunan konsentrasi warna oleh adsorben abu tandan kosong kelapa sawit. Efisiensi dinyatakan dengan persentase, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

%R = Efisiensi Penyisihan

C<sub>in</sub> = Konsentrasi warna awal (mg/L PtCo)

C<sub>out</sub> = Konsentrasi warna akhir (mg/L PtCo)

Kapasitas adsorpsi merupakan besarnya kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi warna. Kapasitas adsorpsi dinyatakan dalam mg PtCo/L. Besarnya kapasitas adsorpsi dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Kapasitas\ adsorpsi\ \left(\frac{mg}{L}\ PtCo\right) = \frac{\%R}{100} \times C_{in} \times \frac{V}{m} \quad (2)$$

(2)

Keterangan:

%R = Efisiensi Penyisihan

C<sub>in</sub> = Konsentrasi warna awal (mg/L PtCo)

V = Volume larutan yang digunakan (L)

m = Berat adsorben yang digunakan (g)

Penentuan kinetika adsorpsi merupakan laju adsorpsi dari suatu adsorben terhadap adsorbat yang memiliki persamaan untuk menentukan konstanta laju dari adsorpsi yaitu *pseudo first order* dan *pseudo second order*. Model kinetika yang digunakan adalah model kinetika orde 1 dan 2. Model kinetika orde pertama dapat dirumuskan:  $-\ln C_e = -k_1 t + \ln C_0$ . Untuk mengetahui kesesuaian data  $\ln C_e$  terhadap waktu (t) pada model kinetika dapat melalui nilai korelasi (R<sup>2</sup>). Nilai K diperoleh dari *slope* (kemiringan) grafik. Untuk persamaan orde dua dirumuskan dengan  $1/C_e - 1/C_0 = k_2 t$ . Kesesuaian data  $1/C_e$  terhadap waktu (t) pada model kinetika juga melalui nilai korelasi (R<sup>2</sup>). Nilai k<sub>2</sub> diperoleh dari grafik kemiringan. Dari dua persamaan model kinetika, nilai yang lebih mendekati 1 dipilih sebagai kinetika adsorpsi.

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan dengan merubah persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich menjadi kurva kesetimbangan garis lurus. Persamaan isoterm dibuktikan melalui koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang ditunjukkan pada grafik linierisasi masing-masing persamaan. isoterm Freundlich dilakukan dengan cara membuat kurva linear antara  $\log C_e$  (konsentrasi adsorbat) yang didapat dari  $\log$  konsentrasi akhir dan  $\log \left(\frac{x}{m}\right)$  konsentrasi pada saat kesetimbangan yang didapat dari  $\log$  kapasitas adsorpsi oleh adsorben. isoterm Langmuir dilakukan dengan cara membentuk kurva linear antara  $C_e$  (konsentrasi adsorbat) setelah dilakukan penyisihan menggunakan kondisi optimum dan  $\frac{C_e}{(x/m)}$  yang didapat dari perbandingan konsentrasi dalam larutan dengan kapasitas adsorpsi oleh adsorben. Persamaan isoterm yang sesuai dengan percobaan ini, dapat dibuktikan melalui koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang ditunjukkan pada grafik linearisasi pada masing-masing persamaan isoterm [13]. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang diperoleh dari masing-masing persamaan digunakan untuk menilai persamaan isoterm yang sesuai, dimana isoterm yang memiliki nilai  $R^2$  yang paling mendekati 1 dipilih sebagai isoterm yang lebih sesuai untuk adsorpsi warna menggunakan adsorben abu tandan kosong kelapa sawit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Air Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit

Data hasil uji karakteristik awal sampel air limbah diketahui bahwa semua parameter uji telah memenuhi baku mutu yaitu Lampiran III Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 05 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Minyak Sawit. Sampel air limbah pabrik minyak kelapa sawit yang digunakan untuk penelitian berasal dari *polishing pond* yang telah melalui proses pengolahan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan sistem biologi anaerob dan aerob.

Tabel 1. Hasil Analisis Sampel Air Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit pada *Polishing Pond*

Parameter	Satuan	PerMen LHK No. 05 Tahun 2014	Hasil Uji
pH	-	6,0 – 9,0	8,87
COD	mg/L	350	282
BOD5	mg/L	100	82,9
Nitrogen Total	mg/L	50	0,037
<i>Total Suspended Solid</i>	mg/L	250	30
Minyak/Lemak	mg/L	25	7,20
Warna	mg/L PtCo	-	2062

Parameter pH, COD, BOD, Nitrogen total, *Total Suspended Solid*, minyak dan lemak berada di bawah baku mutu yang ditetapkan. Sedangkan parameter warna tidak termasuk dalam persyaratan yang harus dipenuhi oleh pabrik pengolahan kelapa sawit dalam pembuangan air limbah ke badan air. Dari hasil uji tersebut diperoleh konsentrasi warna sebesar 2062 mg/L PtCo. Nilai konsentrasi tersebut dijadikan sebagai acuan untuk penetapan variasi konsentrasi adsorbat pada percobaan optimasi yaitu sebesar 250, 500, 1000, 1500 dan 2000 mg/L PtCo.

## Dosis Adsorben Optimum

Tabel 2. Variasi Dosis Adsorben pada Penyisihan Warna

Variasi Dosis (g/L)	Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Awal (mg/L PtCo)	Konsentrasi Akhir (mg/L PtCo)	Warna Teradsorpsi (mg/L PtCo)	Effisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg PtCo/g)
4	120	2000	459	1541	77	385
8			538	1462	73	183
12			649	1352	68	113
16			534	1466	73	92
20			559	1442	72	72

Effisiensi penyisihan warna tertinggi didapatkan pada variasi dosis adsorben terendah yaitu 77% dengan penggunaan dosis adsorben 4 g/L. Effisiensi penyisihan ini menurun seiring dengan pertambahan dosis adsorben hingga mencapai effisiensi penyisihan terendah yaitu sebesar 68% pada penggunaan dosis adsorben 12 g/L.

## Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak optimum 120 menit juga didapatkan pada adsorpsi zat warna reaktif pada air dengan adsorben *bottom ash* batubara menggunakan metode *batch*. Waktu kontak optimum ini diperoleh dari percobaan dengan variasi waktu kontak 60-180 menit, dimana kesetimbangan tercapai pada waktu 120 menit. Kapasitas adsorpsi zat warna reaktif dengan adsorben *bottom ash* batubara tanpa diaktivasi pada waktu kontak 120 menit yaitu 100% [14].

Tabel 3. Variasi Waktu Kontak pada Penyisihan Warna

Variasi Waktu Kontak (menit)	Dosis Adsorben (g/L)	Konsentrasi Awal (mg/L PtCo)	Konsentrasi Akhir (mg/L PtCo)	Warna Teradsorpsi (mg/L PtCo)	Effisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg PtCo/g)
30	4	2000	797	1203	60	301
60			685	1316	66	329
120			459	1541	77	385
180			609	1392	70	348
240			596	1405	70	351

## Konsentrasi Adsorbat Optimum

Tabel 4. Variasi Konsentrasi Adsorbat pada Penyisihan Warna

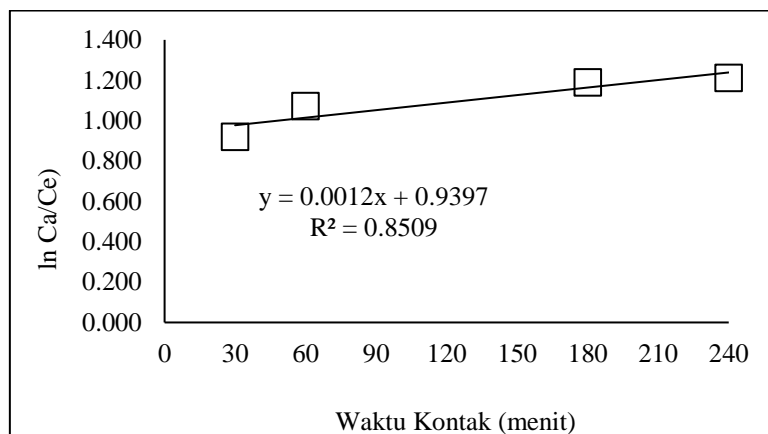
Konsentrasi Adsorbat (mg/L PtCo)	Dosis Adsorben (g/L)	Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Akhir (mg/L PtCo)	Warna Teradsorpsi (mg/L PtCo)	Effisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas Adsorpsi (mgPtCo/g)
250	4	120	163	64	26	16
500			161	358	72	90
1000			550	578	58	144
1500			694	843	56	211
2000			649	1541	77	385

Efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada konsentrasi 2000 mg/L PtCo yaitu sebesar 77%, sedangkan efisiensi penyisihan terendah terjadi pada konsentrasi adsorbat 250 mg/L PtCo sebesar 26%. Semakin tinggi konsentrasi adsorbat maka efisiensi penyisihan warna juga semakin tinggi. Tetapi pada konsentrasi 1000 mg PtCo/L efisiensi penyisihan mengalami penurunan sebelum kemudian mengalami peningkatan lagi dapat disebabkan adsorben abu tandan kosong mengalami kejenuhan dimana pori-pori adsorben telah tertutupi oleh warna yang terjerap pada permukaan adsorben.

### Kinetika Reaksi

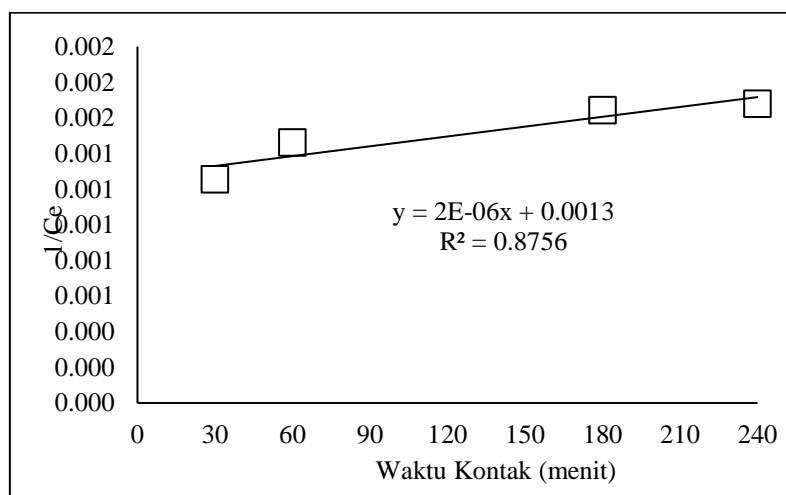
Persamaan kinetika reaksi adsorpsi digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi yang paling sesuai, dengan membandingkan nilai ( $R^2$ ) dari kinetika reaksi yang digunakan. Kinetika adsorpsi yang digunakan adalah orde satu dan orde dua.

#### Orde Satu



Gambar 1. Model Kinetika Orde Satu pada Massa dan Waktu Kontak

#### Orde Dua



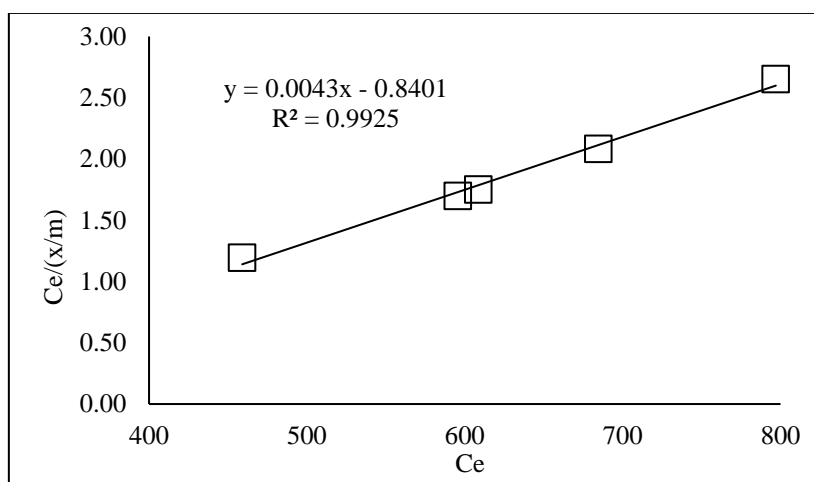
Gambar 2. Model Kinetika Orde Dua pada Massa dan Waktu

Kinetika reaksi adsorpsi pada abu tandan kosong kelapa sawit pada model kinetika orde satu didapat dari persamaan kesetimbangan massa, yang mengasumsikan bahwa laju warna yang teradsorpsi terhadap waktu sebanding dengan kesetimbangan warna yang terserap pada

berbagai waktu ( $q_e - q_t$ ) mempunyai nilai  $R^2$  0,8509. Sedangkan model kinetika orde dua diasumsikan sebagai kuadrat konsentrasi salah satu reaktan atau konsentrasi dua reaktan yang terlibat dengan nilai  $R^2$  0,8756. Hal ini menunjukkan kinetika adsorpsi warna pada abu tandan kosong cenderung pada orde 2 karena memiliki nilai  $R^2$  yang mendekati 1.

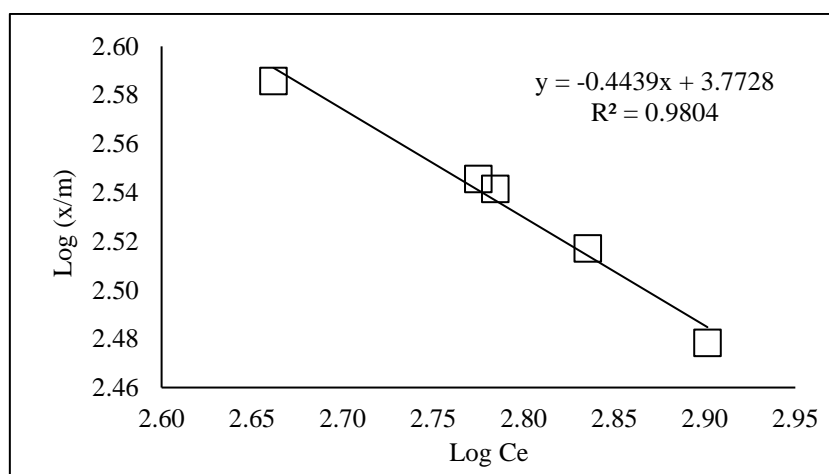
### Persamaan Isoterm

Persamaan Langmuir dan kurva linear log  $C_e$  dan log pada persamaan Freundlich mempergunakan kurva linear antara  $C_e$  dan  $C_e/(x/m)$ . Persamaan isoterm yang sesuai dibuktikan melalui koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada grafik linearisasi masing-masing persamaan isoterm [15].



Gambar 3. Persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir memiliki persamaan garis  $y = 0,0043x - 0,8401$  dan nilai  $R^2 = 0,9925$ . Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa isoterm Langmuir memiliki nilai  $q_m = 232,5581$  dan nilai  $K_L = -0,0051$ .



Gambar 4. Persamaan Adsorpsi Isoterm Freundlich

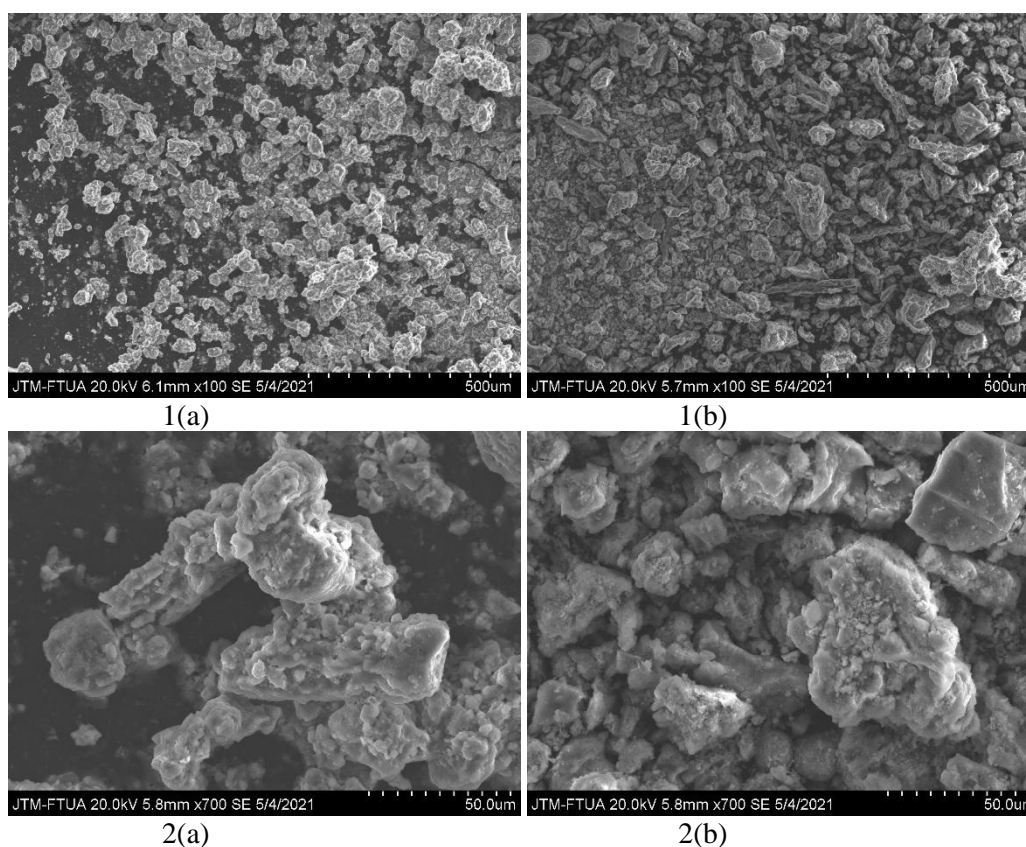
Isoterm Freundlich, dengan persamaan garis  $y = -0,4439x + 3,7728$  dan nilai  $R^2 = 0,9804$ . Isoterm Freundlich memiliki beberapa konstanta yaitu  $K_F$  dan  $1/n$ . dari hasil perhitungan diperoleh nilai  $K_F = 5926,5234$  dan  $1/n = 3,7728$ . Nilai  $K_F$  merupakan kapasitas adsorpsi dan nilai  $n$  adalah intensitas adsorpsi. Semakin tinggi nilai  $K_F$  maka akan semakin tinggi

kemampuan adsorben untuk mengikat adsorbat. Jika nilai  $1/n < 1$  menunjukkan adsorpsi normal dan jika  $1/n > 1$  menunjukkan adsorpsi lemah [16].

### Uji Morfologi Permukaan Adsorben dengan SEM

SEM menunjukkan mikrograf sampel abu tandan kosong kelapa sawit memiliki bentuk yang tidak beraturan. Keseluruhan sampel terlihat dengan permukaan tidak rata. Hal ini mengindikasikan ukuran partikel yang cukup beragam dengan distribusi tidak merata pada permukaan serta partikel pada perbesaran 100x.

Sebelum dilakukan adsorpsi, abu tandan kosong kelapa sawit tampak memiliki pori-pori, kemungkinan besar warna air limbah pabrik pengolahan kelapa sawit akan terperangkap dan teradsorpsi. Hasil analisis menunjukkan sebaran partikel yang tidak seragam dan bentuk partikel yang berbentuk tidak beraturan.



Gambar 5. Analisa SEM Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit  
(a) Sebelum dilakukan adsorpsi (b) Setelah dilakukan adsorpsi

## KESIMPULAN

Hasil studi kinetika dan isoterm adsorpsi abu tandan kosong kelapa sawit dalam penyisihan warna air limbah pabrik minyak kelapa sawit dapat diperoleh kondisi optimum penyisihan warna menggunakan abu tandan kosong kelapa sawit adalah pada dosis adsorben 4 g/L, waktu kontak 120 menit dan konsentrasi adsorbat 2000 mg/L PtCo dengan efisiensi penyisihan 77% dan kapasitas adsorpsi 385 mg PtCo/g.



Kinetika adsorpsi warna air limbah pabrik kelapa sawit dengan abu tandan kosong kelapa sawit mengikuti model kinetika orde dua karena memiliki nilai  $R^2$  mendekati 1 yaitu sebesar 0,8756. Persamaan isoterm yang sesuai adalah persamaan isoterm Freundlich dengan nilai  $K_F$  yaitu 5926,52, nilai  $1/n$  sebesar 3,7728 dan  $R^2$  sebesar 0,8756. Namun penggunaan abu tandan kosong kelapa sawit dikatakan kurang menguntungkan (*unfavorable*) karena memiliki nilai  $1/n$  di atas 1. Kemampuan abu tandan kosong kepala sawit sebagai adsorben dapat ditingkatkan dengan cara aktivasi secara fisika dan kimia.

## REFERENSI

- [1] J. D. Bala, J. Lalung and N. Ismail , "alm Oil Mill Effluent (POME) Treatment "Microbial Communities in an Anaerobic Digester": A Review," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 4, no. 6, pp. 1-24, 2014.
- [2] Ma, A.N. *Management of palm oil industrial effluent*. In. Basiron,Y., B.S. Jailani and k.w. Chan . *Advances in oil palm research*. Vol II. Malaysian palm oil board, Ministry of primary industrie, Malaysia. 2000.
- [3] P. N. Rahardjo, "Teknologi Pengelolaan Limbah Cair Yang Ideal," *Jurnal Air Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 66-71, 2006.
- [4] Zhou, Y., Zhang, M., Wang, X., Huang, Q., Min, Y., Ma, T., and Niu, J. 2014, *Removal of Crystal Violet by a Novel Cellulose-Based Adsorbent: Comparison with Native Cellulose*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 53, 5498-5506.
- [5] Rahmalia, W., Yulistira, F., Ningrum, J., Qurbaniah, M., dan Ismadi, M. Pemanfaatan potensi tandan kosong kelapa sawit (*Elais guineensis* Jacq.) sebagai bahan dasar aktif untuk Adsorpsi Logam Perak dalam Larutan. PKM-3-13-1 Universitas Tanjungpura. 2006.
- [6] Zawawi, D., Nasir, N., Kadir, A.A, Latif, A.A., Ridzuan M.B., Awang, H., and Halim, A.A, *Potential of Agro Waste-Derived Adsorbent Material for Colour Removal*. ISSN: 1662-9507, Vol. 382, pp 292-296. 2018.
- [7] Rebitanim, N.Z., Wan, A., Wan A.K., Ghanu, Khalis, D, Mahmoud, Nur, A.R., Amran, M., Salleh, M. *Adsorption Capacity of Raw Empty Fruit Bunch Biomass onto Methylene Blue Dye in Aqueous Solution*, *Journal of Purity, Utility Reaction and Environment* 1 (2012) 45-60. 2012.
- [8] William, G.K, Serkan E., Atakan, O., Ozcan, H.K., and Aydm, A. *Modelling of Adsorption Kinetic Processes Errors, Theory and Application*. DOI: 10.5772/intechopen.80495. 2018.
- [9] Man, S.R. *Studies on Adsorption Isotherms and Adsorption Kinetics of the Removal of Pb (II) from Aqueous Solution onto Activated Carbon Prepared from Lapsi Seed Stone*. *International Journal of Advanced Social Sciences*. Vol. 01, No. 02, December 2018.
- [10] Standar Nasional Indonesia Nomor 6989.80 Tahun 2011. Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2011.

- 
- [11] Standar Nasional Indonesia Nomor 6989.59 Tahun 2008. Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2008.
- [12] Said, M., Hasan, H.A., Tusirin, M., and Nor, M. *Removal of COD, TSS and colour from palm oil mill effluent (POME) using montmorillonite*. 2015. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1036778>.
- [13] R.A. Sari, Firdaus, L.M., Rina. Penentuan Kesetimbangan, Termodinamika dan Kinetika Adsorpsi Arang Aktif Tempurung Kelaoa Sawit Pada Zat Warna Reactive Red dan Direct Blue. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 1(1):10-14. 2017.
- [14] Handoko, B., Hardianto, Rachman G.F. *Removal of Reactive Dye in Water With Coal Bottom Ash Using a Batch Method*. Politeknik STTT, Bandung. 2020.
- [15] Husin, G. dan Rosnelly, C.M. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh. 2005.
- [16] Lyubchik, S. *Comparison of The Thermodynamic Parameters Estimation for The Adsorption Process of The Metals from Liquid Phase on Activated Carbon*. Portugal: Intech. ISBN: 978-953-307-563-1. 2000.