

## Pengaruh Dosis Alum pada Proses Koagulasi terhadap Penurunan Polutan pada Limbah Palm Oil Mill Effluent: Analisa Eksperimen dan Kinetika

### Effect of Alum Dose in the Coagulation Process for Decreasing the Pollutant in the Palm Oil Mill Effluent: Experimental and Kinetic Analysis

Iqbal Syaichurrozi\*, Jayanudin Jayanudin, Listiyani Nurwindya Sari, Anellysha Putri Apriantika

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kampus Teknik, Cilegon-Banten*

#### Artikel histori :

Diterima 19 Juli 2022  
Diterima dalam revisi 10 Agustus 2022  
Diterima 10 Agustus 2022  
Online 15 November 2022

**ABSTRAK:** *Palm oil mill effluent (POME)* adalah limbah industri pengolahan kelapa sawit yang tidak dapat dibuang langsung ke badan air. Oleh karena itu, limbah ini harus diolah. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah POME adalah koagulasi. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh dosis koagulan terhadap proses koagulasi pada limbah POME melalui analisa eksperimen dan kinetika. Dosis alum divariasikan menjadi 1, 3, 5, 10, 15 g/L. Volume limbah yang diolah sebanyak 1 L. Sebelum ditambah alum, pH POME diatur menjadi 7,0 dengan penambahan NaOH teknis. Proses koagulasi dijalankan selama 180 menit pada suhu kamar. Setiap 20 menit, pH cairan diukur dan sampel cairan  $\pm 50$  mL diambil untuk disettling selama 24 jam. Selanjutnya, konsentrasi total suspended solid (TSS) pada supernatant dianalisa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penambahan alum dapat menurunkan pH cairan dan meningkatkan TSS cairan. Proses koagulasi selama 180 menit menghasilkan efisiensi pengurangan TSS sebesar 33,3; 33,3; 37,1; 1,7; -17,8 % pada penggunaan dosis 1, 3, 5, 10, 15 g/L. Model kinetik orde 1 memberikan prediksi yang lebih baik dibandingkan model kinetik orde 2 dengan nilai  $R^2$  masing-masing sebesar 0,7876-0,9707 dan 0,2746-0,8912.

**Kata Kunci:** Alum; Kinetika; Koagulasi; POME

**ABSTRACT:** *Palm oil mill effluent (POME)* is palm oil processing industrial waste that cannot be discharged directly into water bodies. Therefore, this waste must be treated. One method that can be used to treat it is coagulation. The purpose of this study was to investigate the effect of coagulant doses on the coagulation process for treating the POME through experimental and kinetic analysis. The alum dose was varied to 1, 3, 5, 10, 15 g/L. The volume of treated waste was 1 L. Before adding alum, the pH of POME was adjusted to 7.0 with the addition of technical grade NaOH. The coagulation process was carried out for 180 minutes at room temperature. Every 20 minutes, the pH of the liquid was measured and a fluid sample as much as  $\pm 50$  mL was taken to be settled for 24 hours. Next, the total suspended solid (TSS) concentration in the supernatant was analyzed. The results showed that the addition of alum could decrease the liquid pH and increase the TSS of the liquid. The coagulation process for 180 minutes resulted in a TSS reduction efficiency of 33.3, 33.3, 37.1, 1.7, -17.8% at alum doses of 1, 3, 5, 10, 15 g/L respectively. The first-order kinetic model provided a better prediction than the second-order kinetic model with  $R^2$  values of 0.7876-0.9707 and 0.2746-0.8912, respectively.

**Keywords:** Alum; Coagulation; Kinetic; POME

#### 1. Pendahuluan

Produksi *Crude Palm Oil* (CPO) di Indonesia mengalami kenaikan tiap tahun dari tahun 2012 sampai 2020 dimana produksi CPO pada tahun 2012 sebanyak 26,02 juta ton

dan pada tahun 2020 menjadi 48,3 ton (statista.com, 2021). Indonesia merupakan salah satu negara penghasil CPO terbesar di dunia. Pada tahun 2019, jumlah produksi CPO di Indonesia sebanyak 58% dari total CPO di dunia. Nilai ini lebih dari dua kali lipat produksi CPO di Malaysia yaitu 26% (statista.com, 2020).

\* Corresponding author email: [iqbal\\_syaichurrozi@untirta.ac.id](mailto:iqbal_syaichurrozi@untirta.ac.id)  
[iqbalsyaichurrozi@gmail.com](mailto:iqbalsyaichurrozi@gmail.com)

Produksi CPO di Indonesia diprediksi akan mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya konsumsi CPO di dunia. Diproyeksikan bahwa produksi CPO dunia di tahun 2050 mencapai 189,66 juta ton (Gapki.id, diakses 21 Oktober 2021). Oleh karena itu, jumlah *Palm Oil Mill Effluent* (POME), sebagai limbah industri kelapa sawit, diprediksi juga akan mengalami kenaikan hingga tahun 2050. Dalam menghasilkan 1 ton CPO, industri akan

menghasilkan 2,5-3 m<sup>3</sup> POME (Hasanudin dan Haryanto, 2018). Selain jumlah yang sangat besar, POME mempunyai karakteristik yang sangat ekstrim (Singh *et al.*, 2013; Najafpour *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2014) yang ditunjukkan pada Tabel 1. Kandungan kimia pada POME belum memenuhi baku mutu limbah (Tabel 1), maka POME tidak dapat dibuang langsung ke badan air.

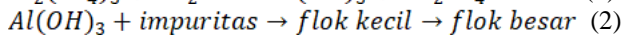
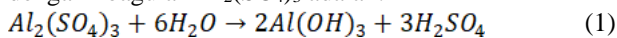
**Tabel 1.** Perbandingan karakteristik POME mentah dengan baku mutu limbah cair kelapa sawit

Parameter	POME mentah Singh <i>et al.</i> (2013), Najafpour <i>et al.</i> (2006), Wang <i>et al.</i> (2014)	Baku mutu limbah (Permen LH No 5 Tahun 2014)
BOD (mg/L)	21.500-55.200	≤ 100*
COD (mg/L)	42.500-86.300	≤ 350
TSS (mg/L)	15.660-27.000	≤ 250
Minyak dan lemak (mg/L)	1.077-7.582	≤ 25
Total nitrogen (mg/L)	60-910	≤ 50
pH	3,8-5,0	6-9

Keterangan: BOD = Biological oxygen demand; COD = *Chemical oxygen demand*; TSS = *Total suspended solid*; \*BOD<sub>5</sub>

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah POME adalah koagulasi. Koagulasi adalah salah satu metode pengolahan limbah cair dengan memanfaatkan koagulan untuk memisahkan impuritas dari cairan (Tetteh dan Rathilal, 2019). Jenis koagulan yang dapat dipakai adalah aluminium sulfat (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) atau biasa disebut alum. Impuritas dalam bentuk koloid di dalam limbah cair cenderung stabil karena koloid memiliki muatan yang sama (pada umumnya bermuatan negatif). Ketika koagulan ditambahkan ke dalam cairan, maka *precipitate* dalam bentuk logam hidroksi yang memiliki tekstur seperti agar (gel) terbentuk. *Precipitate* ini memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi serta bermuatan positif, sehingga mudah menarik koloid membentuk flok-flok kecil. Selanjutnya, flok-flok kecil akan saling mengikat satu sama lain membentuk flok yang lebih besar dan mengendap.

Reaksi kimia yang terjadi pada proses koagulasi dengan koagulan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> adalah:



Pengolahan limbah POME dengan proses koagulasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti menggunakan berbagai jenis koagulan seperti abu sekam padi (Huzir *et al.*, 2019), ekstrak biji *Moringa oleifera* (Bhatia *et al.*, 2007), alum (Ismail *et al.*, 2014), bibit kacang dan gandum (Chung *et al.*, 2018). Jenis koagulan yang paling umum digunakan adalah alum. Ismail *et al.* (2014) mempelajari pengaruh suhu operasi (30-80 °C), dosis koagulan (1-6 g/L) dan pH umpan (4-8). Kondisi operasi terbaik adalah suhu 30 °C dengan dosis koagulan 4 g/L dan pH umpan 6,5 menghasilkan efisiensi pengurangan total padatan tersuspensi sebesar 90%. Akan tetapi penelitian ini tidak menjelaskan berapa konsentrasi awal *total suspended solid* (TSS) pada POME mentah. Selain itu, analisa kinetika belum dilakukan pada penelitian tersebut. Penelitian ini mengolah POME dengan kandungan *total solid* (TS) dan

*total suspended solid* (TSS) sebesar 21.000 dan 18.000 g/L (Tabel 2). POME ini mungkin berbeda dengan POME pada penelitian Ismail *et al.* (2014). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh dosis koagulan terhadap proses koagulasi pada limbah POME melalui analisa eksperimen dan kinetika.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Bahan yang Digunakan

POME mentah diperoleh dari PTPN VIII (Lebak, Banten). Karakteristik POME mentah tersebut ditampilkan pada Tabel 2. NaOH teknis dan alum diperoleh dari toko lokal.

**Tabel 2.** Karakteristik POME mentah

Parameter	Nilai	Satuan
TS	21.000	mg/L
TSS	18.000	mg/L
pH	4,3	-

### 2.2. Proses Koagulasi

POME mentah sebanyak 1 L dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian sejumlah NaOH teknis ditambahkan untuk meningkatkan pH cairan dari 4,3 menjadi 7,0. Lalu, alum ditambahkan sesuai variasi yaitu 1, 3, 5, 10, 15 g/L. Proses koagulasi dijalankan dengan pengadukan 200 rpm selama 180 menit. Setiap 20 menit, pH cairan diukur, kemudian sampel cairan sebanyak 50 mL diambil dan dimasukkan ke dalam gelas ukur 50 mL untuk proses settling selama 24 jam. Setelah settling selama 24 jam, supernatant yang terbentuk diambil dan dianalisa kandungan TSS-nya.

### 2.3. Analisa

#### 2.3.1. Pengukuran pH dan suhu cairan

Pengukuran pH cairan dilakukan menggunakan pH meter digital. Pengukuran suhu cairan dilakukan menggunakan termometer.

2.3.2. Pengukuran TS dan TSS

Cawan kosong dikeringkan menggunakan oven pada suhu 103-105°C selama 1 jam kemudian ditimbang beratnya (W1). Selanjutnya 10 mL sampel dimasukkan ke dalam cawan tersebut. Cawan yang berisi sampel basah tersebut dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105-110 °C selama 4 jam kemudian ditimbang beratnya (W2). Konsentrasi TS dihitung menggunakan rumus pada persamaan 3.

$$TS \left( \frac{g}{L} \right) = \frac{W2 (g) - W1 (g)}{volume\ sampel (L)} \quad (3)$$

Analisa TSS dilakukan dengan prosedur yang sama dengan analisa TS, tetapi pada analisa TSS, sampel disetling terlebih dahulu selama 24 jam sebelum dianalisa.

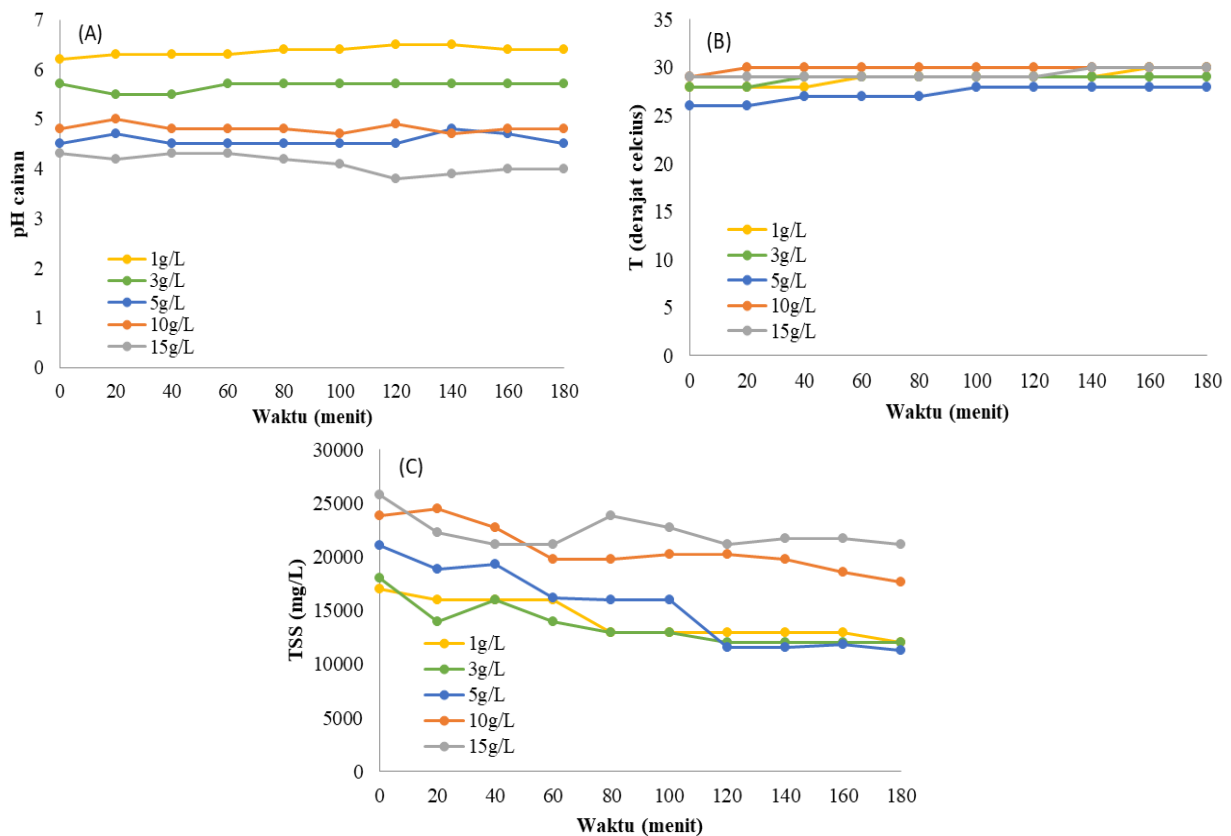
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa eksperimen

Profil pH cairan selama proses koagulasi ditunjukkan pada Gambar 1(A). Berdasarkan Gambar 1 (A), penambahan alum menurunkan pH cairan. Hal itu ditunjukkan pada pH cairan pada menit ke-0 (Gambar 1(A)). Sebelum ditambah alum, pH POME mentah adalah 7,0, tetapi setelah ditambah alum dengan dosis 1, 3, 5, 10, 15 g/L, pH cairan masing-masing menjadi 6,2; 5,7; 4,5; 4,8; 4,3. Alum

bersifat asam, sehingga penambahan alum dapat menurunkan pH cairan. Selama proses, pH cairan cenderung stabil. Suhu cairan selama proses ditunjukkan pada Gambar 1(B), dimana suhu cairan cenderung konstan hingga akhir proses. Pada penelitian ini, proses koagulasi dioperasikan pada suhu kamar tanpa adanya pemanasan sehingga proses berlangsung pada rentang suhu kamar. Reaksi adsorpsi pada proses koagulasi termasuk reaksi endotermis atau reaksi eksotermis tergantung jenis adsorben dan adsorbat. Proses koagulasi menggunakan koagulan garam Fe(II), Fe(III) dan poly-aluminium chloride untuk mengadsorb Se(IV) adalah eksotermis (Kalaitzidou et al., 2020). Proses koagulasi menggunakan koagulan alam *Leucaena crude extract* untuk mengadsorb Congo red adalah endotermis (Kristianto et al., 2022). Pada penelitian ini, penulis belum mengetahui proses adsorpsi yang terjadi adalah eksotermis atau endotermis. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan memvariasikan suhu operasi. Jika laju reaksi meningkat dengan peningkatan suhu operasi, maka reaksinya adalah endotermis. Jika laju reaksi menurun dengan peningkatan suhu operasi, maka reaksinya adalah eksotermis (Xu et al., 2018).

Konsentrasi TSS pada supernatan selama proses ditampilkan pada Gambar 1(C). Nilai TSS mengalami penurunan hingga akhir proses. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi proses koagulasi antara koagulan dengan polutan.

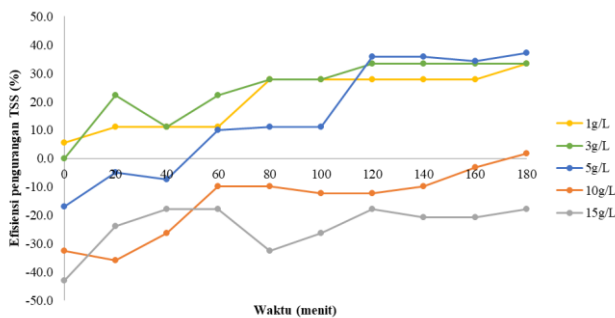


Gambar 1. (A) pH cairan, (B) suhu cairan, (C) konsentrasi TSS pada supernatan

Berdasarkan Gambar 1(C), penambahan alum dapat meningkatkan konsentrasi TSS pada limbah POME yang ditunjukkan pada menit ke-0. POME mentah mengandung TSS sebanyak 18.000 mg/L, sedangkan setelah ditambah alum 1, 3, 5, 10, 15 g/L konsentrasi TSS-nya menjadi 17.000, 18.000, 21.038, 23.860, 25.743 mg/L. Berdasarkan data tersebut, penambahan alum dengan dosis 3 g/L ke atas meningkatkan konsentrasi TSS pada POME pada awal proses. Selama proses koagulasi, konsentrasi TSS pada POME mengalami penurunan (Gambar 1(C)). Pada dosis 15 g/L, konsentrasi TSS mengalami penurunan dari menit ke-0 sampai menit ke-60. Selanjutnya, dari menit ke-60 sampai menit ke-80, TSS mengalami kenaikan. Lalu, dari menit ke-80 hingga menit ke-180, TSS cenderung turun. Kenaikan TSS pada menit ke-80 diduga karena ikatan antara koagulan dan polutan tidak kuat sehingga floks yang terbentuk terdispersi kembali. Jenis koagulan yang terbentuk dipengaruhi oleh pH. Koagulan utama adalah  $Al(OH)_3$ . Ketika pH cairan asam, konsentrasi  $Al(OH)_3$  menurun sedangkan jenis Al yang lain seperti  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ,  $Al_3(OH)_4^{5+}$ ,  $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$  semakin tinggi konsentrasinya (Feng et al., 2008). Profil pH cairan ditunjukkan pada Gambar 1(A). Ion-ion tersebut diduga memiliki kekuatan untuk mengikat polutan yang lebih rendah dibandingkan  $Al(OH)_3$ , sehingga floks yang terbentuk diduga mudah terdispersi kembali, akibatnya konsentrasi TSS lebih fluktuatif pada dosis 15 g/L dibandingkan pada dosis yang lebih kecil.

Gambar 2 menunjukkan efisiensi pengurangan TSS selama proses koagulasi pada berbagai dosis koagulan. Efisiensi pengurangan TSS dihitung dengan rumus pada persamaan 4.

$$\text{Efisiensi pengurangan TSS (\%)} = \frac{TSS_{POME \text{ mentah}} - TSS_{\text{setelah koagulasi}}}{TSS_{POME \text{ mentah}}} \quad (4)$$



**Gambar 2.** Efisiensi pengurangan TSS pada variasi dosis koagulan

Berdasarkan Gambar 2, terlihat jelas bahwa penambahan alum dengan dosis 5-15 g/L pada POME justru meningkatkan konsentrasi TSS pada POME di menit ke-0. Setelah dilakukan proses koagulasi selama 180 menit, diperoleh efisiensi pengurangan TSS sebesar 33,3; 33,3; 37,1; 1,7; -17,8 % pada masing-masing dosis alum 1, 3, 5, 10, 15 g/L.

Semakin tinggi dosis alum dari 1 sampai 5 g/L, nilai efisiensi pengurangan TSS meningkat dari 33,3 sampai 37,1 %. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin banyak

alum yang ditambahkan, semakin banyak polutan yang dapat diikat oleh koagulan. Akan tetapi, pada penambahan alum sampai 15 g/L, efisiensi pengurangan TSS setelah proses koagulasi menurun menjadi -17,8 %, artinya konsentrasi TSS pada POME setelah proses koagulasi justru lebih tinggi dibandingkan TSS pada POME mentah. Pada Gambar 1(C), terlihat bahwa penambahan alum 15 g/L langsung meningkatkan konsentrasi TSS pada POME di menit ke-0. Kemudian, selama proses koagulasi, konsentrasi TSS mengalami penurunan hingga menit ke-180. Akan tetapi, konsentrasi TSS di akhir proses tersebut tetap lebih tinggi dibandingkan TSS pada POME mentah (Tabel 2). Jenis logam hidroksi yang terbentuk tidak hanya  $Al(OH)_3$  tetapi juga ada jenis yang lain seperti  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ,  $Al_3(OH)_4^{5+}$ , dan  $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ . Konsentrasi  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ,  $Al_3(OH)_4^{5+}$ , dan  $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$  semakin banyak ketika pH sistem semakin asam (Feng et al., 2008). Penambahan alum 15 g/L menyebabkan pH cairan lebih asam dibandingkan penambahan alum 5 g/L (Gambar 1(A)), sehingga diduga konsentrasi  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ,  $Al_3(OH)_4^{5+}$ ,  $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$  semakin banyak pada dosis tersebut. Ion-ion ini diduga memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan  $Al(OH)_3$ . Reaksi antara ion-ion tersebut dengan polutan diduga menghasilkan floks-floks yang masih sulit mengendap serta mudah terdispersi kembali sehingga TSS pada POME justru mengalami kenaikan dan nilai efisiensi pengurangan TSS menjadi negatif.

Oleh karena itu, dosis alum terbaik adalah 5 g/L. Hal ini disebabkan karena pada dosis 5 g/L, jumlah koagulan ( $Al(OH)_3$ ) yang terbentuk lebih banyak dibandingkan pada penambahan alum 1 dan 3 g/L karena semakin banyak alum ditambahkan maka semakin banyak koagulan yang terbentuk sehingga efisiensi pengurangan TSS semakin besar. Akan tetapi penambahan alum 15 g/L justru menurunkan efisiensi pengurangan TSS karena pH sistem menjadi lebih asam dibandingkan dengan penambahan alum 5 g/L, sehingga diduga lebih banyak terbentuk jenis logam hidroksi  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ,  $Al_3(OH)_4^{5+}$  dan  $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$  yang berikatan dengan polutan membentuk floks yang diduga cenderung terdispersi di dalam cairan.

Ismail et al. (2014) melaporkan hasil yang hampir sama dengan penelitian ini dimana dosis koagulan alum optimum untuk mengolah POME adalah 4 g/L dengan pH umpan 6,5. Pada jenis koagulan bukan alum, Bhatia et al. (2007) melaporkan dosis koagulan ekstrak biji *Moringa oleifera* optimum untuk mengolah POME adalah 3,469 g/L dengan pH umpan 5.

### 3.2. Analisa Kinetika

Laju perubahan konsentrasi polutan selama proses koagulasi dapat dimodelkan dengan persamaan laju reaksi:

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n \quad (5)$$

Dimana:

- C = konsentrasi TSS (mg/L)
- k = konstanta laju reaksi koagulasi
- n = orde reaksi
- t = waktu proses (menit)

Pada umumnya nilai orde reaksi yang digunakan adalah 1 atau 2. Oleh karena itu, model kinetika orde 1 dan 2 masing-masing ditunjukkan pada persamaan 6 dan 7.

$$\frac{dC}{dt} = -k_1 C \quad (6)$$

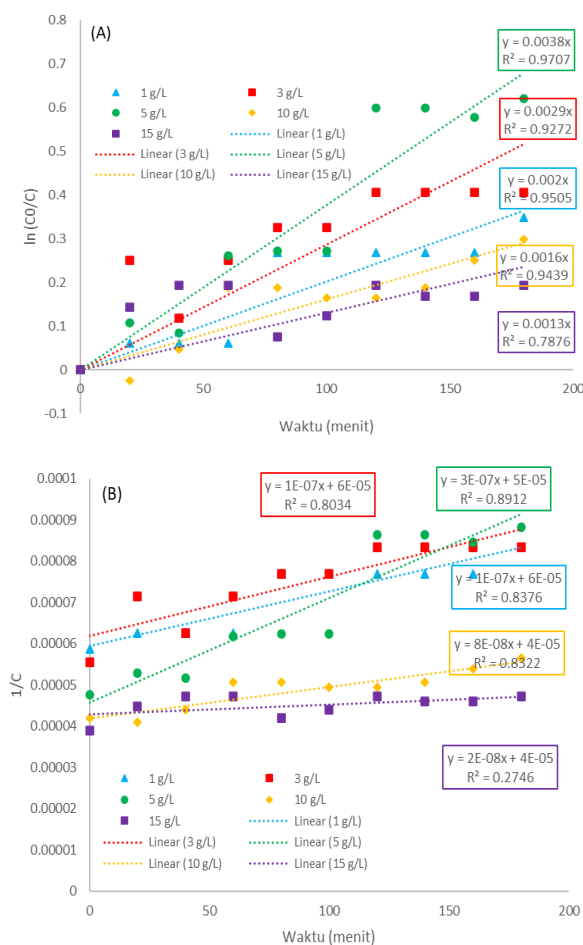
$$\frac{dC}{dt} = -k_2 C^2 \quad (7)$$

Persamaan 6 dan 7 diintegrasikan dan diubah menjadi bentuk linier menjadi persamaan 8 dan 9.

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = k_1 t \quad (8)$$

$$\frac{1}{C} = k_2 t + \frac{1}{C_0} \quad (9)$$

Model kinetik pada persamaan 8 dan 9 digunakan untuk memodelkan data eksperimen pada penelitian ini. Hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 3 sedangkan nilai konstanta kinetik yang dicari ditampilkan pada Tabel 3.



**Gambar 3.** Hasil modeling menggunakan (A) model kinetik orde 1, (B) model kinetic orde 2

Berdasarkan Tabel 3, Model kinetik orde 1 ( $R^2=0,7876-0,9707$ ) memberikan prediksi yang lebih baik dibandingkan Model kinetik orde 2 ( $R^2=0,2746-0,8912$ ). Nilai  $k_1$  pada dosis 5 g/L paling tinggi dari semua dosis yang diujikan yaitu 0,0038 /menit. Hal ini menunjukkan bahwa dengan dosis koagulan 5 g/L, laju penurunan polutan lebih cepat dibandingkan dengan dosis kurang atau lebih dari 5 g/L.

**Tabel 3.** Nilai parameter kinetik yang dicari

Parameter	Dosis koagulan (g/L)				
	1	3	5	10	15
<b>Model kinetik orde 1</b>					
$k_1$ (/menit)	0,002	0,0029	0,0038	0,0016	0,0013
$R^2$	0,9505	0,9272	0,9707	0,9439	0,7876
<b>Model kinetik orde 2</b>					
$k_2$ (L/mg.menit)	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-7}$	$8 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-8}$
$R^2$	0,8376	0,8034	0,8912	0,8322	0,2746

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- 1) Penambahan alum dapat menurunkan pH cairan dan meningkatkan TSS cairan
- 2) Proses koagulasi selama 180 menit menghasilkan efisiensi pengurangan TSS sebesar 33,3; 33,3; 37,1; 1,7; -17,8 % pada penggunaan dosis 1, 3, 5, 10, 15 g/L
- 3) Model kinetik orde 1 memberikan prediksi yang lebih baik dibandingkan model kinetik orde 2 dengan nilai  $R^2$  masing-masing sebesar 0,7876-0,9707 dan 0,2746-0,8912.
- 4) Persamaan model kinetik pada penggunaan dosis alum sebanyak 5 g/L adalah:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = 0,0038 t \quad (10)$$

#### 5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dosen Madya 2022.

#### 6. Daftar Pustaka

- Bhatia, S., Othman, Z. & Ahmad, A.L., 2007, Coagulation–floculation process for POME treatment using *Moringa oleifera* seeds extract: Optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 133: 205–212.
- Chung, Y.P, Selvarajoo, A., Sethu, V., Koyande, A.K., Arputhan, A. & Lim, Z.C., 2018, Treatment of palm oil mill effluent (POME) by coagulation floculation process using peanut–okra and wheat germ–okra. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 20: 1951-1970.
- Feng, X., Baojie, Z. & Chery, L., 2008, Effects of low temperature on aluminum(III) hydrolysis: Theoretical and experimental studies. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 20: 907–914.
- Gapki.Id, Kebijakan Nasional Dalam Industri Sawit Menuju Ekonomi Indonesia Pada Urutan 10 Besar Dunia, <https://gapki.id/news/2342/kebijakan-nasional-dalam-industri-sawit-menuju-ekonomi-indonesia-pada-urutan-10-besar-dunia> (Diakses 21 Oktober 2021).
- Hasanudin, U. & Haryanto, A., 2018, Palm Oil Mill Effluent Recycling System For Sustainable Palm Oil Industries. *Asian J. Env. Tech.*, Vol. 2, No. 1: 52-62.

- Huzir, N.M., Aziz, M.M.A., Ismail, S.B., Mahmood, N.A.N., Umor, N.A. & Muhammad, S.A.F.S., 2019, Optimization of coagulation-flocculation process for the palm oil mill effluent treatment by using rice husk ash. *Industrial Crops & Products*, Vol. 139: 111482.
- Ismail, S., Idris, L., Ng, Y.T. & Ahmad, A.L., 2014, Coagulation And Palm Oil Mill Effluent (Pome) At High Temperature. *Journal Of Applied Sciences*, Vol. 14, No. 12: 1351-1354.
- Kalaitzidou, K., Bakouros, L., & Mitrakas, M., 2020, Techno-Economic Evaluation of Iron and Aluminum Coagulants on Se(IV) Removal. *Water*, Vol. 12: 672.
- Kristianto, H., Manurung, N., Wardhani, I.K., Prasetyo, S., Sugih, A.K. & Arbita, A.A., 2022, A kinetic, isotherm adsorption, and thermodynamic study of Congo red coagulation using *Leucaena* crude extract as natural coagulant. *Water Practice & Technology*, Vol. 17, No. 6: 1332-1346.
- Najafpour, G.D., Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Isa, M.H. & Nasrollahzadeh, H., 2006, High-Rate Anaerobic Digestion Of Palm Oil Mill Effluent In An Upflow Anaerobic Sludge-Fixed Film Bioreactor. *Process Biochemistry*, Vol. 41: 370–379.
- Singh, L., Siddiqui, M.F., Ahmad, A., Rahim, M.H.A, Sakinah, M. & Wahid, Z.A., 2013, Application Of Polyethylene Glycol Immobilized *Clostridium* Sp. LS2 For Continuous Hydrogen Production From Palm Oil Mill Effluent In Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 70: 158–165.
- Statista.Com, 2020, Which Countries Produce The Most Palm Oil?, <https://www.statista.com/chart/23097/amount-of-palm-oil-produced-in-selected-countries/> (Diakses 21 Oktober 2021).
- Statista.Com. 2021. Production Volume Of Palm Oil In Indonesia 2012-2020, <https://www.statista.com/statistics/706786/production-of-palm-oil-in-indonesia/> (Diakses 21 Oktober 2021).
- Tetteh, E.K. & Rathilal, S., 2019, Application of Organic Coagulants in Water and Wastewater Treatment, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.84556> (Diakses 10 Agustus 2022) .
- Wang, J., Mahmood, Q, Qiu, J.-P., Li, Y.-S., Chang, Y.-S., Chi, L.-N. & Li, X.-D., 2015, Zero Discharge Performance Of An Industrial Pilot-Scale Plant Treating Palm Oil Mill Effluent. *Journal Of Biomedicine And Biotechnology*, Vol. 2015: 617861.
- Xu, J., Cao, Z., Zhang, Y., Yuan, Z., Lou, Z., Xu, X. & Wang, X., 2018, A review of functionalized carbon nanotubes and graphene for heavy metal adsorption from water: preparation, application, and mechanism. *Chemosphere*, Vol. 195: 351–364.