

Available online at: <http://reactor.poltekatiptdg.ac.id/>

REACTOR
Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



Efektivitas Metode Fenton-TiO₂-UV Terhadap Degradasi Warna dan *Chemical Oxygen Demand* Pada Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent*

Dedi Teguh^{1*}, Windia Hanifah¹, Devy Cendekia¹, Arlina Phelia², Nita Pita Sari¹, Asraf Wa Adib¹

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno Hatta, Bandar Lampung, 35141, Indonesia

² Program Studi Teknik Sumberdaya Lahan dan Lingkungan, Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno Hatta, Bandar Lampung, 35141, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: October 29, 2024

Revised: December 23, 2024

Accepted: December 27, 2024

KEYWORDS

Advanced Oxidation Processes, Fenton, Palm Oil Mill Effluent, Photocatalytic, TiO₂, UV

CORRESPONDENCE*

Name: Dedi Teguh

E-mail: dediteguh@polinela.ac.id

A B S T R A C T

The palm oil industry produces POME (Palm Oil Mill Effluent) liquid waste. POME is generally brownish, has an odor, and contains dissolved and suspended solids in the form of colloids and oil residue with a high Chemical Oxygen Demand (COD) content. Currently, the POME processing system still uses a conventional system known as the open pond system. This research aims to reduce the burden of organic materials related to removing COD levels, and color. It can solve the technical and operational obstacles of conventional processing systems. One of the extensive efforts to process POME is to develop Fenton-based photocatalytic technology, namely the Fenton-TiO₂-UV method. Photocatalytic technology has several general processes involving semiconductor photocatalysts such as TiO₂ and photon (UV) energy sources. In this study, the Fenton-TiO₂-UV method was used with variations in the Fenton molar ratio of 1:100, 1:200, 1:300 (v/v), reaction times of 30, 60, and 90 minutes with TiO₂ concentration 0.6% and uses 2 UV lamps (15 watts). This study achieved the maximum color degradation percentage at a Fenton molar ratio of 1:100 with a reaction time of 30 minutes, namely 95.28%. Meanwhile, the maximum COD degradation percentage was achieved at a Fenton molar ratio of 1:100 with a reaction time of 90 minutes, namely 98.88%.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit dan telah menjadi produsen pasar domestik dunia dengan produk minyak sawit serta turunannya. Hal ini menunjukkan bahwa industri kelapa sawit akan terus tumbuh. Produk utama industri kelapa sawit adalah *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel Oil* (PKO). Hal ini tidak terlepas dari terus meningkatnya kebutuhan kelapa sawit yang dapat menghasilkan berbagai produk turunan dalam sektor pangan, energi, hingga kosmetik. Pada sisi lain, meningkatnya produksi minyak sawit juga akan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan. Umumnya, terdapat dua jenis limbah industri kelapa sawit yaitu limbah dalam bentuk padat dan cair. Limbah padat berupa tandan buah kosong kelapa sawit (TKKS), serat, cangkang, abu, dan bungkil sawit. Sedangkan

limbah cair pabrik kelapa sawit berasal dari tiga sumber yaitu air kondensat dari proses sterilisasi, *sludge* dan kotoran, serta air cucian hidrosiklon [1]. Salah satu limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit yaitu limbah cair atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Setiap ton produksi CPO menghasilkan sekitar 5 – 7 ton POME [1]. POME adalah salah satu limbah agroindustri yang paling sering menyebabkan polusi. POME dinyatakan sebagai salah satu limbah yang sulit ditangani karena produksinya yang besar dan pengolahannya tidak efektif.

POME merupakan limbah cair dengan bau yang tidak sedap, berwarna coklat pekat, mengandung berbagai senyawa terlarut, termasuk serat-serat pendek, hemiselulosa dan turunannya, protein, asam organik bebas dan campuran mineral-mineral [2]. Selain itu, POME mengandung padatan terlarut dan tersuspensi

berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan senyawa organik tinggi yang menyebabkan tingginya kebutuhan oksigen kimiawi (COD) [3]. Kebutuhan oksigen kimiawi dapat meningkat disebabkan oleh proses ekstraksi minyak yang tidak lengkap. POME memiliki komposisi dan konsentrasi dari protein, komponen nitrogen, lemak, dan mineral [4]. Lemak adalah satu dari polutan organik utama yang terdapat dalam POME. Dengan kandungan bahan organik yang tinggi, maka kadar polutan akan semakin tinggi hingga berdampak negatif terhadap ekosistem jika limbah tersebut dibuang langsung ke lingkungan. POME juga merupakan limbah dengan jumlah kandungan serat terendah di antara semua limbah dari proses pengolahan kelapa sawit [5]. Selama proses pengolahan POME, bau tidak sedap akan muncul sehingga lingkungan sekitar akan terganggu oleh pembuangan POME. Namun demikian, banyak pabrik pengolahan kelapa sawit yang belum memenuhi standar pembuangan POME.

Saat ini, sistem pengolahan POME masih menggunakan sistem konvensional yang dikenal dengan sistem kolam terbuka. Sistem kolam merupakan metode paling konvensional untuk pengolahan POME. Lebih dari 85% pabrik pengolahan kelapa sawit (PPKS) di Indonesia telah memakai sistem kolam terbuka. Namun, hanya sedikit yang dioperasikan dalam skala penuh karena kinerja yang tidak memuaskan, menghasilkan lumpur yang banyak, investasi modal yang tinggi, membutuhkan area kolam yang luas, bau busuk, emisi gas rumah kaca, dan waktu pengolahan yang lama [6]. Untuk memecahkan masalah lingkungan, bermunculan berbagai metode untuk mengatasi POME. Beberapa penelitian untuk mengatasi masalah POME telah dilakukan, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Cindy dengan menggunakan karbon aktif diperoleh penurunan COD sebesar 43%. Sementara itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Agustina [7] dengan menggunakan metode kombinasi adsorpsi-Fenton, diperoleh penurunan COD sebesar 70-78%. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Ng [8] dengan menggunakan teknologi fotokatalitik (TiO_2 -UV) diperoleh penurunan COD sebesar 52%. Beberapa tahun terakhir, metode alternatif telah diteliti oleh peneliti untuk mengatasi kekurangan dari berbagai metode yang telah dilakukan, salah satunya yaitu dengan teknologi *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) atau proses oksidasi lanjutan. Dibandingkan pengolahan limbah dengan proses fisik dan biologis, proses pengolahan POME secara kimiawi relatif lebih efektif [9].

Teknologi AOPs dianggap cocok untuk pengolahan air yang terkontaminasi oleh kontaminan organik terlarut seperti senyawa aromatik, pewarna, obat-obatan, deterjen, herbisida, dan pestisida. Selain cukup

ekonomis karena mampu menghemat tempat dan energi, biaya investasi murah, aman, sederhana, proses pengolahannya juga cepat [9] dan efektif serta dapat mendegradasi senyawa-senyawa berbahaya yang bersifat *non-biodegradable* dalam limbah melalui oksidasi. Salah satu metode AOPs yang tengah dikembangkan secara intensif adalah metode Fenton- TiO_2 -UV. Reagen Fenton merupakan salah satu pengembangan dari teknologi AOPs. Proses Fenton terjadi dari reaksi antara hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan ion besi (Fe^{2+} atau Fe^{3+}) guna menghasilkan gugus hidroksi radikal yang dapat mengoksidasi senyawa organik maupun anorganik [10]. Diantara teknologi AOPs lainnya, metode Fenton adalah metode yang paling efektif karena mampu menghemat tempat dan energi, biayanya murah, mudah di aplikasikan, aman, sederhana, proses pengolahan cepat dan efektif [11].

Fotokatalitik dapat diartikan sebagai katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi kimia dengan bantuan sinar atau cahaya. Fotokatalitik juga menjadi teknologi yang memiliki sejumlah kelebihan dibanding teknologi lainnya. Teknologi fotokatalitik merupakan teknologi yang penerapannya sederhana, konversi energi solar secara langsung, tidak membutuhkan input energi eksternal, dan juga efisien secara kinerja maupun biaya. Reaksi Fenton dapat meningkat berkali lipat apabila diradiasikan dengan UV (*visible light*) dan penggunaan katalis semikonduktor seperti TiO_2 . Fotokatalitik dengan TiO_2 didefinisikan sebagai proses reaksi kimia yang didasarkan pada pembentukan pasangan *electron-hole* (e^-/h^+). Proses Fenton- TiO_2 -UV sama-sama menghasilkan OH radikal, sehingga OH radikal dapat mendegradasi warna dan polutan organik [12]. Proses kombinasi Fenton- TiO_2 -UV memiliki kelebihan yaitu waktu pengolahan yang relatif singkat, mudah pengoperasiannya dan bahan baku yang mudah didapatkan [13]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengolah *palm oil mill effluent* dengan metode Fenton- TiO_2 -UV sehingga diharapkan dapat menurunkan beban bahan organik terkait penyisihan kadar COD, dan warna. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi solusi atas kendala teknis dan operasional dari sistem pengolahan secara konvensional dalam mendukung sirkular ekonomi industri kelapa sawit.

METODOLOGI

Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan yaitu antara lain reaktor fotokatalitik, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 2810-UV-Vis), erlenmeyer, gelas ukur, pH meter (ATC), kertas saring (whatman 40) neraca analitik (YAMATA), lampu UV (15 watt), POME, H_2SO_4 72%

(Merck), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck), H_2O_2 30% (Merck) TiO_2 99,8% (Merck).

Preparasi Sampel POME

Pengambilan sampel POME dilakukan secara *grab sample* yaitu metode pengambilan sampel dengan cara sampel diambil secara langsung dari kolam no. 4 yang berasal dari salah satu pabrik pengolahan kelapa sawit di Lampung Tengah, Lampung. Pengambilan sampel POME dilakukan di tiga titik, sampel ini hanya menggambarkan karakteristik pada saat pengambilan sampel, sehingga jumlah sampel POME yang diambil sebanyak 10 Liter kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel yang sudah disterilkan.

Parameter Uji

Parameter uji POME dilakukan pada sampel awal POME dan sampel hasil pengolahan POME yang dilaksanakan di Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri (BSKJI), Bandar Lampung. Parameter uji POME terdiri dari uji COD (SNI 6989.2:2019) dan uji warna (SNI 6989.80:2011).

Proses Pengolahan POME Dengan Metode Fenton- TiO_2 -UV

Sampel POME sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam reaktor fotokatalitik, kemudian mengatur pH menjadi 3 dengan menambahkan H_2SO_4 . Selanjutnya menambahkan TiO_2 dengan konsentrasi 0,6% ke dalam reaktor fotokatalitik dan mengatur kecepatan alat pengaduk 250 rpm. Setelah itu, ditambahkan reagen Fenton ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$) dengan rasio molar 1:100 (v/v) dan menghidupkan lampu UV (15 watt). Waktu 0 menit mulai dihitung ketika memasukkan reagen Fenton ke dalam reaktor fotokatalitik yang telah berisi campuran POME dan TiO_2 . Selama proses fotokatalitik berlangsung sampel diambil pada waktu reaksi 30, 60, dan 90 menit. Sampel yang telah diambil pada selang waktu tersebut kemudian dianalisis kembali nilai COD (MU. SS - UJI.90) dan warna (spektrofotometer UV Vis). Mengulangi prosedur dengan variasi rasio molar Fenton masing-masing 1:200 dan 1:300. Degradasi warna dan COD dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Degradasi Warna (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\text{Absorbansi}_{\text{akhir}}}{\text{Absorbansi}_{\text{awal}}} \right) \right] \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Degradasi COD (\%)} = \frac{\text{COD}_{\text{awal}} - \text{COD}_{\text{akhir}}}{\text{COD}_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (2)$$

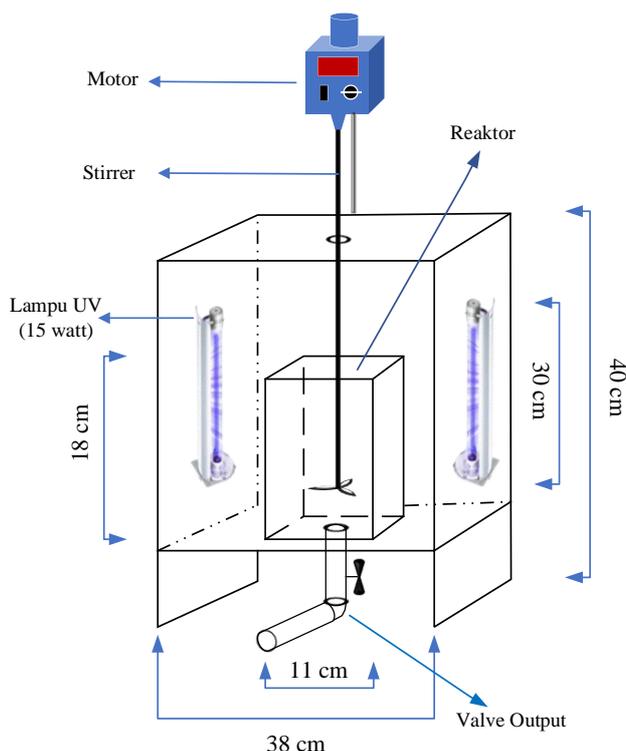
Rancangan penelitian yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF). RALF adalah rancangan acak lengkap yang terdiri dari dua atau lebih variabel bebas. Pada RALF terdapat dua atau lebih faktor yang dicobakan yaitu pengaruh variasi reagen Fenton dan waktu reaksi. Tujuan dari percobaan faktorial adalah untuk melihat

interaksi antara faktor yang dicobakan.

Tabel 1. Rancangan Penelitian

| No | Variasi Reagen Fenton (A) | Waktu (B) | Ulangan | |
|----|---------------------------|-----------|-------------|-------------|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | 1:100 | 30 | $A_1 : B_1$ | $A_1 : B_1$ |
| | | | $A_1 : B_2$ | $A_1 : B_2$ |
| | | | $A_1 : B_3$ | $A_1 : B_3$ |
| | | | $A_2 : B_1$ | $A_2 : B_1$ |
| 2 | 1:200 | 60 | $A_2 : B_2$ | $A_2 : B_2$ |
| | | | $A_2 : B_3$ | $A_2 : B_3$ |
| | | | $A_3 : B_1$ | $A_3 : B_1$ |
| 3 | 1:300 | 90 | $A_3 : B_2$ | $A_3 : B_2$ |
| | | | $A_3 : B_3$ | $A_3 : B_3$ |

Pada Gambar 1 merupakan reaktor yang akan digunakan pada penelitian ini dan dirancang sendiri dengan spesifikasi panjang 12 cm, lebar 12 cm, dan tinggi 15 cm. Reaktor tersebut merupakan reaktor fotokatalitik yang digunakan untuk pengolahan POME dengan proses Fenton fotokatalitik (TiO_2 -UV)



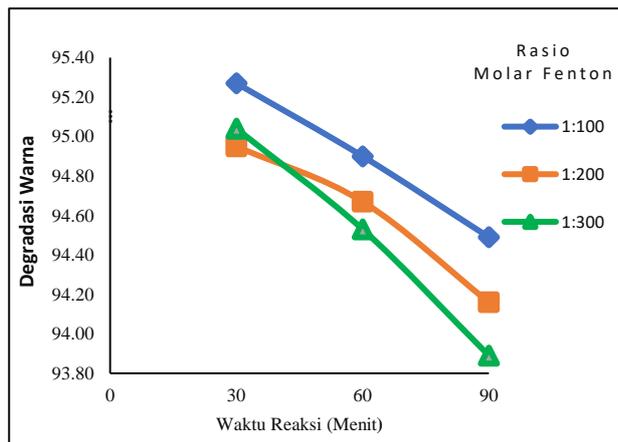
Gambar 1. Reaktor Fotokatalitik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Rasio Molar Fenton Dan Waktu Reaksi Terhadap Degradasi Warna

Waktu reaksi pada Proses Fenton- TiO_2 -UV ditentukan berdasarkan waktu yang diperlukan untuk menurunkan nilai awal warna dan COD hingga mencapai nilai yang memenuhi baku mutu. Kemudian ditentukan rasio molar Fenton untuk mendapatkan kondisi optimum dari proses

Fenton sehingga diperoleh efisiensi pengolahan POME secara maksimal.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Rasio Molar Fenton Dan Waktu Reaksi Terhadap Degradasi Warna

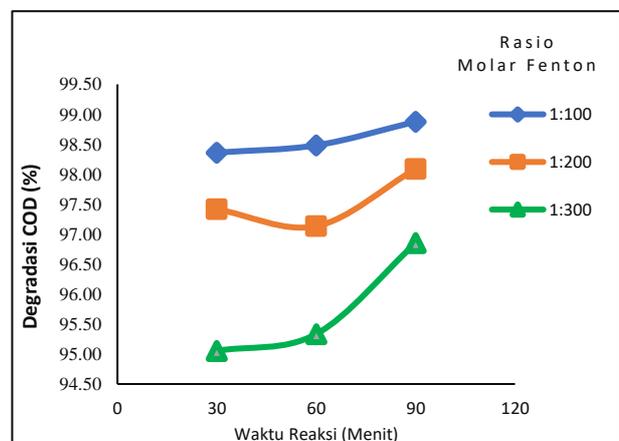
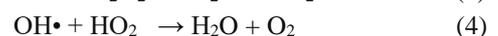
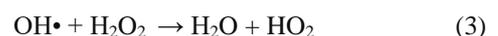
Pada Gambar 2 menunjukkan adanya pengaruh rasio molar Fenton dan waktu reaksi terhadap degradasi warna. Persentase degradasi warna tertinggi terjadi pada rasio molar Fenton 1:100 dengan waktu reaksi 30 menit yaitu sebesar 95,28 %. Penambahan rasio molar Fenton pada proses degradasi warna dengan metode Fenton-TiO₂-UV mempengaruhi efisiensi degradasi, pengaruh tersebut ditunjukkan pada Gambar 2. Pada rasio molar Fenton 1:100 menghasilkan persentase degradasi warna yang tinggi pada 30 menit awal, hal ini disebabkan oleh intensitas pembentukan OH yang tinggi akibat dari rasio molar Fenton berada pada posisi yang cukup seimbang untuk mendegradasi warna pada POME. Tetapi hal ini tidak bertahan lama, dikarenakan pada rasio molar Fenton 1:200 dan 1:300 terjadi *self saving* OH [14]. Hal ini terjadi akibat dari konsentrasi ion Fe yang rendah pada sistem Fenton, sehingga menghasilkan penurunan degradasi warna. Pada menit 60-90 persentase degradasi warna cenderung tidak meningkat dikarenakan proses Fenton tidak berlangsung sempurna. Penambahan H₂O₂ yang berlebih atau kurangnya penambahan FeSO₄ akan menurunkan persentase degradasi warna pada senyawa organik karena terjadinya fenomena OH• yang bereaksi dengan H₂O₂ (*self saving* OH). Sehingga terbentuknya radikal HO₂• yang kurang reaktif dibandingkan radikal OH•.

Persentase degradasi warna dipengaruhi oleh adanya flokulan yang berasal dari proses penguraian senyawa organik secara cepat pada proses Fenton-TiO₂-UV. Penguraian senyawa organik pada proses Fenton dilakukan secara cepat akibat adanya katalis FeSO₄ [15]. Sehingga bahan organik yang sudah teroksidasi dan terurai pada proses Fenton-TiO₂-UV akan membentuk flokulan. Keberadaan flokulan tersebut dipengaruhi oleh ion besi yang ada pada sistem Fenton dan akan

membentuk Fe(OH)₃ yang memiliki kemampuan mengadsorpsi kation dari medium pendispersinya sehingga Fe(OH)₃ bermuatan positif dan dapat mengikat bahan organik yang sudah terurai [3]. Flokulan tersebut bisa mengapung jika massa jenis flok lebih kecil daripada massa jenis air dan akan melayang jika berat jenis flok sama dengan massa jenis air. Akibatnya jika flokulan tersebut mengapung/melayang di dalam reaktor akan menghasilkan efek tyndall yaitu gejala penghamburan berkas sinar (cahaya) oleh partikel-partikel yang tersuspensi maupun terlarut [8]. Penghamburan cahaya UV dan tingkat kekeruhan tersebut akan mempengaruhi proses reaksi eksitasi elektron oleh sinar UV dan TiO₂ sehingga kinerja dari sistem fotokatalitik dalam proses kombinasi kurang maksimal.

Pengaruh Rasio Molar Fenton Dan Waktu Reaksi Terhadap Degradasi COD

Berdasarkan Gambar 3 diperoleh hasil degradasi COD tertinggi pada rasio molar 1:100 dengan waktu reaksi 90 menit yaitu sebesar 98,88 % dari nilai COD awal. Hal ini menunjukkan bahwa pada rasio molar Fenton 1:100 proses Fenton-TiO₂-UV akan bekerja secara maksimal untuk menghasilkan OH yang dapat bereaksi dan mengoksidasi bahan organik. Namun, pada rasio molar Fenton 1:300 persentase degradasi COD yang dihasilkan menurun dibandingkan rasio molar Fenton 1:100 dan 1:200. Hal ini disebabkan oleh tingginya konsentrasi H₂O₂ di dalam sistem. Penambahan H₂O₂ yang berlebih akan menurunkan persentase degradasi karena terjadinya fenomena OH• yang bereaksi dengan H₂O₂. Sehingga terbentuknya radikal HO₂• yang kurang reaktif dibandingkan radikal OH• yang ditunjukkan pada reaksi pembentukan hidroksil tahap kedua berikut [16]:



Gambar 3. Grafik Pengaruh Rasio Molar Fenton Dan Waktu Reaksi Terhadap Degradasi COD

H₂O₂ sendiri jika diiradiasi dengan sinar UV maka akan membentuk radikal hidroksil [17], ketika ketersediaan FeSO₄ yang rendah pada proses Fenton-TiO₂-UV, penguraian bahan organik masih tetap berlanjut. Hal ini terlihat pada 30 menit awal dengan rasio molar Fenton 1:200 dan 1:300 diperoleh persentase degradasi COD yang dihasilkan mencapai 97,41% dan 95,05%. Untuk menghasilkan proses pengolahan yang optimum, kombinasi antara FeSO₄ dan H₂O₂ di dalam sistem Fenton-TiO₂-UV harus seimbang [17]. Dapat dikatakan kondisi seimbang karena proses degradasi berjalan cukup stabil mulai dari menit awal sampai akhir, hal ini disebabkan oleh rasio antara FeSO₄ dan H₂O₂ cukup seimbang sehingga reaksi akan terus berlangsung sampai akhir. Dalam proses kombinasi, baik OH, OH⁻, O²⁻, HO₂ merupakan agen pengoksidasi yang sangat efisien dalam mengoksidasi bahan organik dan mengurainya menjadi CO₂ dan H₂O [17].

Efektivitas Metode Fenton-TiO₂-UV Terhadap Degradasi Warna

Hasil analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan perlakuan pengaruh rasio molar Fenton dan waktu reaksi terhadap degradasi warna ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2, variabel rasio molar Fenton diperoleh nilai sig. 0,033 < 0,05 yang artinya data tersebut dinyatakan

signifikan. Nilai yang signifikan artinya terdapat pengaruh nyata dengan menggunakan rasio molar Fenton terhadap degradasi warna. Penggunaan variabel waktu yang digunakan pada proses Fenton-TiO₂-UV diperoleh nilai sig. 0,021, dimana nilai tersebut kurang dari 0,05 yang artinya data tersebut dinyatakan signifikan. Data yang memiliki nilai signifikan berarti variabel waktu berpengaruh nyata terhadap degradasi warna, sedangkan interaksi antara rasio molar Fenton dan waktu didapatkan data yang tidak signifikan dengan nilai sig. 0,382 > 0,05 yang artinya semua perlakuan mendapatkan hasil respon yang sama (tidak berbeda).

Setelah dilakukan uji analisis ANOVA, rasio molar Fenton yang efektif untuk degradasi warna yaitu pada rasio 1:100 dan untuk waktu reaksi yang paling efektif adalah 30 menit. Dikarenakan interaksi antara rasio molar Fenton dan waktu reaksi tidak signifikan yang berarti perlakuan semua interaksi keduanya menghasilkan respon yang sama. Maka, perlakuan yang paling efektif dapat kita pilih dengan membandingkan variabel lainnya. Interaksi rasio 1:100 waktu reaksi 30 menit merupakan yang paling efektif untuk degradasi warna, dikarenakan menggunakan bahan kimia dan daya yang rendah sehingga membutuhkan biaya yang lebih sedikit.

Tabel 2. Hasil Analisis Warna Menggunakan ANOVA

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | Keterangan |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-------------|-------|------------------|
| Corrected Model | 3,343 ^a | 8 | 0,418 | 3,398 | 0,043 | Signifikan |
| Intercept | 161539,280 | 1 | 161539,280 | 1313802,205 | 0,000 | Signifikan |
| Rasio | 1,256 | 2 | 0,268 | 5,109 | 0,033 | Signifikan |
| Waktu | 1,505 | 2 | 0,753 | 6,121 | 0,021 | Signifikan |
| Rasio*Waktu | 0,581 | 4 | 0,145 | 1,181 | 0,382 | Tidak Signifikan |
| Total | 161543,729 | 18 | | | | |

Efektivitas Metode Fenton-TiO₂-UV Terhadap Degradasi COD

Hasil analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan perlakuan pengaruh rasio molar Fenton dan waktu reaksi terhadap degradasi COD dapat dilihat pada Tabel 3. Pada variabel rasio molar Fenton diperoleh nilai sig. 0,431 > 0,05 yang artinya data tersebut dinyatakan tidak signifikan. Nilai yang tidak signifikan artinya rasio molar Fenton terhadap degradasi COD tidak berpengaruh nyata. Penggunaan variabel waktu yang digunakan pada proses Fenton-TiO₂-UV diperoleh nilai sig. 0,973, dimana nilai tersebut lebih dari 0,05 yang artinya data tersebut dinyatakan tidak signifikan. Data yang memiliki nilai tidak signifikan berarti variabel waktu reaksi tidak berpengaruh nyata terhadap degradasi COD. Hal yang sama terjadi pada interaksi antara rasio molar Fenton dan waktu reaksi, dimana didapatkan data yang tidak signifikan dengan nilai sig. 0,562 > 0,05 yang artinya

semua perlakuan mendapatkan hasil respon yang sama (tidak berbeda).

Setelah dilakukan uji analisis ANOVA, rasio molar Fenton, waktu reaksi, dan interaksi rasio dengan waktu tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan semua rasio, waktu reaksi, dan interaksi keduanya menghasilkan respon yang sama. Maka, perlakuan yang paling efektif dapat kita pilih dengan membandingkan variabel lainnya. Rasio molar Fenton yang paling efektif untuk degradasi COD yaitu 1:100, dikarenakan bahan kimia yang digunakan lebih sedikit sehingga biaya yang dikeluarkan semakin kecil. Sedangkan waktu reaksi yang paling efektif untuk degradasi COD yaitu 30 menit dikarenakan waktu yang digunakan lebih cepat dan daya yang digunakan lebih rendah. Interaksi pada rasio molar Fenton 1:100 dan waktu reaksi 30 menit merupakan yang paling efektif untuk degradasi COD.

Tabel 3. Hasil Analisis COD Menggunakan ANOVA

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | Keterangan |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|-------|------------------|
| Corrected Model | 31,425 ^a | 8 | 3,928 | 0,631 | 0,736 | Signifikan |
| Intercept | 168962,596 | 1 | 168962,596 | 27158,922 | 0,000 | Signifikan |
| Rasio | 11,532 | 2 | 5,766 | 0,927 | 0,431 | Signifikan |
| Waktu | 0,342 | 2 | 0,171 | 0,027 | 0,973 | Signifikan |
| Rasio*Waktu | 19,551 | 4 | 4,888 | 0,786 | 0,562 | Tidak Signifikan |
| Total | 169050,012 | 18 | | | | |

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Fenton-TiO₂-UV efektif dalam mendegradasi warna dan COD pada POME dengan persentase masing-masing 95,28% dan 98,88% serta telah memenuhi baku mutu. Dengan menerapkan metode Fenton-TiO₂-UV maka air hasil pengolahan POME dapat digunakan kembali (*recycle*) untuk keperluan utilitas pabrik terkait penyediaan air guna mendukung sirkular ekonomi industri kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Politeknik Negeri Lampung melalui skema Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2024 dengan nomor kontrak:1238.2.5/PL15/PP/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. Iskandar, A. Baharum, F. H. Anuar, and R. Othaman, "Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology—A review," Feb. 01, 2018, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.eti.2017.11.003.
- [2] K. H. Ng, "Adoption of TiO₂-photocatalysis for palm oil mill effluent (POME) treatment: strengths, weaknesses, opportunities, threats (SWOT) and its practicality against traditional treatment in Malaysia," *Chemosphere*, vol. 270, p. 129378, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129378.
- [3] L. Agustina, Suprihatin, M. Romli, and P. Suryadarma, "Processing of palm mill oil effluent using photocatalytic: A Literature Review," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 22, no. 11, pp. 43–52, 2021, doi: 10.12911/22998993/142972.
- [4] M. S. Saad, M. D. H. Wirzal, and Z. A. Putra, "Review on current approach for treatment of palm oil mill effluent: Integrated system," *Journal of Environmental Management*, vol. 286, no. February, p. 112209, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112209.
- [5] S. Mohammad, S. Baidurah, T. Kobayashi, N. Ismail, and C. P. Leh, "Palm oil mill effluent treatment processes—A review," *Processes*, vol. 9, no. 5, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/pr9050739.
- [6] A. Ratnasari *et al.*, "Advances in pretreatment technology for handling the palm oil mill effluent: Challenges and prospects," *Bioresource Technology*, vol. 344, no. PB, p. 126239, 2022, doi: 10.1016/j.biortech.2021.126239.
- [7] T. E. Agustina, B. Sulistyono, and R. Anugrah, "Pengolahan palm oil mill effluent (POME) dengan metode fenton dan kombinasi adsorpsi fenton," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 22, no. 3, pp. 1–8, 2016.
- [8] K. H. Ng and C. K. Cheng, "Photocatalytic degradation of palm oil mill effluent over ultraviolet-responsive titania: Successive assessments of significance factors and process optimization," *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, pp. 2073–2083, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.077.
- [9] D. Gamaralalage, O. Sawai, and T. Nunoura, "Degradation behavior of palm oil mill effluent in Fenton oxidation," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 364, pp. 791–799, 2019, doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.07.023.
- [10] A. C. Affam and A. R. Bin Bistar, "Oxidation of palm oil mill effluent using hydrogen peroxide and catalysed by uv light/zinc oxide," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 736, no. 4, pp. 0–14, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/736/4/042025.
- [11] S. Sani, A. F. Dashti, and R. Adnan, "Applications of fenton oxidation processes for decontamination of palm oil mill effluent: A review," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 13, no. 10, pp. 7302–7323, 2020, doi: 10.1016/j.arabj.2020.08.009.
- [12] O. Arutanti *et al.*, "Advanced degradation of lignin from palm oil mill effluent (pome) by a combination of photocatalytic-fenton treatment and TiO₂ nanoparticle as the catalyst," *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 231, no. 6, 2020, doi: 10.1007/s11270-020-04617-8.
- [13] F. Midik Ertosun, K. Cellat, O. Eren, Ş. Gül, E. Kuşvuran, and F. Şen, "Comparison of nanoscale zero-valent iron, fenton, and photo-fenton processes for degradation of pesticide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in aqueous solution," *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 11, 2019, doi: 10.1007/s42452-019-1554-5.

- [14] S. B. Ramli, M. Y. Aziz, F. A. Shafie, and A. R. Ishak, "Optimization of fenton oxidation process for the palm oil mill effluent (pome) treatment and its phytotoxicity effect," *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, vol. 17, no. December, pp. 14–18, 2021.
- [15] R. Nawaz, C. F. Kait, H. Y. Chia, M. H. Isa, and L. W. Huei, "Photocatalytic remediation of treated palm oil mill effluent contaminated with phenolic compounds using TiO₂ nanomaterial," *Desalination and Water Treatment*, vol. 183, pp. 355–365, 2020, doi: 10.5004/dwt.2020.25218.
- [16] M. Ayoub, "Fenton process for the treatment of wastewater effluent from the edible oil industry," *Water Science and Technology*, vol. 86, no. 6, pp. 1388–1401, Sep. 2022, doi: 10.2166/wst.2022.283.
- [17] S. Martini, S. Afroze, and K. A. Roni, "Raw industrial wastewater treatment using fenton, photo fenton and photo catalytic: A Comparison Study," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 801, no. 1, pp. 0–7, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/801/1/012005.