

Efektivitas Metode Fenton dalam Pengolahan Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*)

Meuthia Novenjani¹, Rully Masriatini^{1*}, Husnah¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Dan Informatika. Universitas PGRI Palembang
Jl. Jend. A. Yani Lrg. Gotong Royong 9/10 Ulu Palembang, 30251

*Email: mariatinirully@gmail.com

Abstrak

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah cair hasil pengolahan kelapa sawit yang mengandung senyawa organik tinggi dan dapat mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan benar. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas penambahan reagen Fenton dalam menurunkan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah POME. Variasi rasio molar FeSO_4 dan H_2O_2 yang digunakan adalah 1:20, 1:40, dan 1:60, dengan waktu pengadukan selama 20 dan 30 menit pada pH optimum 3 dan kecepatan stirrer 20 rpm. Hasil menunjukkan bahwa rasio 1:60 dengan waktu pengadukan 30 menit memberikan penurunan paling optimal: COD dari 1028 mg/L menjadi 87,4 mg/L, BOD dari 512 mg/L menjadi 178 mg/L, TSS dari 454 mg/L menjadi 118 mg/L, serta minyak dan lemak dari 223 mg/L menjadi 17 mg/L. Seluruh parameter mendekati atau memenuhi baku mutu limbah berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014. Metode Fenton efektif dan ramah lingkungan.

Kata kunci: BOD, COD, Fenton, Minyak & Lemak POME.

Abstract

Palm Oil Mill Effluent (POME) is a liquid waste generated from palm oil processing that contains high concentrations of organic compounds and may cause environmental pollution if not properly treated. This study aims to evaluate the effectiveness of adding Fenton reagent in reducing COD, BOD, TSS, and oil and grease levels in POME wastewater. The molar ratio variations of FeSO_4 and H_2O_2 applied were 1:20, 1:40, and 1:60, with mixing times of 20 and 30 minutes at an optimum pH of 3 and a stirrer speed of 20 rpm. The results indicate that the 1:60 ratio with a mixing time of 30 minutes achieved the greatest reduction: COD decreased from 1028 mg/L to 87.4 mg/L, BOD decreased from 512 mg/L to 178 mg/L, TSS decreased from 454 mg/L to 118 mg/L, and oil and grease decreased from 223 mg/L to 17 mg/L. All parameters met or exceeded the wastewater quality standards set by the Indonesian Ministry of Environment Regulation No. 5 of 2014. The Fenton method is proven to be effective and environmentally friendly.

Keywords: BOD, COD, Fenton, Oil and Grease, POME.

1. PENDAHULUAN

Tanaman kelapa sawit adalah salah satu jenis tanaman perkebunan yang sangat dominan di Indonesia. Tanaman kelapa sawit berperan penting dalam meningkatkan devisa negara dan juga dengan adanya perkebunan kelapa sawit menciptakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat. Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman yang mempunyai nilai ekonomis yang sangat tinggi, dan juga kelapa sawit merupakan sumber minyak nabati yang bagus di dunia [1].

Industri kelapa sawit merupakan industri ekspor terpenting di Indonesia. Industri kelapa sawit menyerap lebih dari 4,5 juta petani dan tenaga kerja serta menyumbang sekitar 4,5% dari total nilai ekspor nasional. Hal ini tidak terlepas dari peran Indonesia sebagai negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia sejak tahun 2006 [2]. Meskipun berdampak

positif bagi perekonomian daerah, peningkatan produksi kelapa sawit juga menyebabkan meningkatnya limbah industri, terutama limbah cair. Pembuangan limbah ke perairan terbuka, seperti sungai, dapat merusak ekosistem mikroorganisme dan mengancam kelestarian lingkungan sekitar [3].

Advanced oxidation processes (AOPs) merupakan metode yang dianggap cocok untuk pembersihan air yang terkontaminasi oleh kontaminan organik terlarut seperti senyawa aromatik, pewarna, obat-obatan, deterjen, herbisida, dan pestisida. Metode Fenton adalah salah satu pengembangan dari teknologi AOP. 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. Reagen

Fenton merupakan campuran hidrogen peroksida dan garam besi ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) dalam kondisi asam yang menghasilkan radikal hidroksil. Dibandingkan metode AOPs lainnya, metode Fenton dinilai paling efektif karena prosesnya cepat, efisien, sederhana, hemat energi dan biaya, serta mampu menguraikan senyawa berbahaya yang non-biodegradable melalui oksidasi [6].

COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah secara kimiawi menggunakan kalium bikromat dalam kondisi asam dan panas, dengan bantuan katalis perak sulfat. COD mencerminkan total kandungan bahan organik, baik yang mudah maupun yang sulit terurai.

BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan parameter untuk mengukur kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme dalam menguraikan materi organik secara biologis dalam air. TSS dapat didefinisikan sebagai suatu partikel yang berukuran lebih besar dari 2 mikron, yang bisa diperoleh dalam lingkungan akuatik. Partikel yang berukuran lebih kecil dari rata-rata ukuran filter, yaitu 2 mikron, diibaratkan sebagai padatan terlarut. TSS sebagian besar terdiri dari zat anorganik, meskipun bakteri dan gangga juga dapat berperan pada konsentrasi total padatan [7].

Total Suspended Solids (TSS) adalah parameter penting dalam penilaian kualitas air yang mencerminkan jumlah total partikel padat yang terapung atau tersuspensi dalam air [8]. Minyak lemak merupakan polutan organik *nonbiodegradable*, yaitu bahan organik yang bersifat sukar diuraikan oleh mikroorganisme. Limbah ini memiliki berat jenis lebih kecil daripada air, sehingga minyak pada air membentuk lapisan tipis di atas air [9].

2. METODOLOGI

Limbah cair kelapa sawit atau POME diperoleh dari pengolahan limbah di perusahaan CPO yang berada di Sumatra Selatan. Sebanyak 20 liter disimpang di jirigen. Bahan yang digunakan meliputi FeSO_4 sebagai sumber ion Fe^{2+} dan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) 30 % sebagai oksidator. Untuk penyesuaian pH, digunakan larutan Asam Klorida (HCl). Aquadest digunakan sebagai pelarut tambahan dan pembilas alat.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas beaker, gelas ukur, labu Erlenmeyer, corong, kertas saring, pengaduk kaca, neraca analitik, pipet volume, botol kaca, pipet tetes, kaca arloji, magnetik stirrer serta APD.

2.1 PENGOLAHAN LIMBAH

Limbah cair POME yang telah disaring dari partikel kasar ditakar sebanyak 100 mL dan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Selanjutnya, dilakukan penyesuaian pH hingga mencapai pH optimum sebesar ± 3 menggunakan larutan HCl . Setelah pH sesuai, dilakukan penambahan reagen Fenton dengan variasi rasio molar antara FeSO_4 dan H_2O_2 , yaitu 1:20, 1:40, dan 1:60. Penambahan H_2O_2 dilakukan secara perlahan sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 20 rpm selama 20 atau 30 menit, sesuai dengan variasi waktu perlakuan. Reaksi antara Fe^{2+} dan H_2O_2 akan menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang sangat reaktif dan mampu mengoksidasi senyawa organik kompleks dalam limbah POME.

Setelah proses pengadukan selesai, larutan didiamkan untuk mengalami sedimentasi. Endapan yang terbentuk kemudian dipisahkan melalui proses filtrasi menggunakan kertas saring. Hasil filtrat dikumpulkan untuk dilakukan pengujian terhadap parameter COD, BOD, TSS, serta kandungan minyak dan lemak menggunakan metode SNI dan Standard Methods.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 ANALISA COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik dan anorganik dalam limbah POME. Pengukuran COD bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kandungan bahan pencemar organik yang ada dalam limbah tersebut dapat bereaksi secara kimia dengan oksidator kuat [10]. Dalam konteks ini, semakin tinggi nilai COD menunjukkan semakin besar jumlah bahan organik yang mampu mengikat oksigen, yang berarti kualitas air tersebut semakin buruk karena banyaknya zat pencemar yang

mengonsumsi oksigen. Kondisi ini dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) dalam air, yang sangat diperlukan oleh organisme akuatik untuk bertahan hidup [11].

Penurunan kadar COD ini terjadi karena keberhasilan proses oksidasi dalam metode Fenton dalam menghancurkan senyawa-senyawa organik kompleks yang menjadi penyumbang utama tingginya nilai COD. Pada kondisi pH asam (sekitar pH 3), H_2O_2 dapat membentuk ion oksinium ($H_3O_2^+$) yang berperan dalam menstabilkan H_2O_2 , meskipun pada konsentrasi tertentu kestabilan ini justru dapat menurunkan laju reaksi dengan ion Fe^{2+} , sehingga pembentukan radikal hidroksil ($\bullet OH$) menjadi lebih lambat [12]. Meski demikian, ketika kondisi optimal tercapai, reaksi antara $FeSO_4$ dan H_2O_2 menghasilkan radikal hidroksil yang sangat reaktif, yang mampu mengoksidasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, bahkan hingga menghasilkan air dan karbon dioksida. Radikal ini bekerja sebagai agen pengoksidasi kuat yang sangat efektif dalam menurunkan kadar pencemar dalam limbah [13].

3.2 ANALISA BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Semakin tinggi nilai BOD, semakin banyak kandungan bahan organik yang terlarut dalam air, yang membuat limbah tersebut lebih tercemar [14].

Penurunan kadar BOD ini dapat dijelaskan melalui mekanisme reaksi Fenton, di mana terbentuknya radikal hidroksil ($\bullet OH$) sebagai hasil reaksi antara $FeSO_4$ dan H_2O_2 berperan penting dalam proses oksidasi senyawa organik. Radikal hidroksil merupakan oksidator yang sangat kuat dan reaktif, mampu menghancurkan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana atau bahkan tidak berbahaya. Peningkatan jumlah radikal ini sebanding dengan efektivitas penguraian bahan organik yang terlarut dalam air limbah, sehingga secara langsung menurunkan beban pencemaran dan kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Lesa William Stevian [15], dijelaskan bahwa efektivitas pembentukan radikal hidroksil sangat dipengaruhi oleh rasio antara $FeSO_4$ dan H_2O_2 , di mana rasio yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi reaksi akibat terjadinya konsumsi berlebih terhadap H_2O_2 atau pembentukan endapan besi. Sebaliknya, pada rasio yang optimal seperti 1:60 dalam penelitian ini, diperoleh keseimbangan yang tepat antara jumlah katalis dan oksidator, yang menghasilkan radikal hidroksil dalam jumlah yang cukup untuk menurunkan kadar BOD secara signifikan.

Penurunan BOD ini menunjukkan bahwa jumlah senyawa organik yang tersisa dalam air limbah semakin sedikit, sehingga mikroorganisme memiliki lebih sedikit substrat untuk didegradasi dalam proses biologis. Dengan demikian, kebutuhan oksigen dalam proses tersebut pun ikut berkurang, yang tercermin dalam nilai BOD yang menurun secara nyata. Hal ini menegaskan bahwa rasio molar 1:60 merupakan kondisi paling efektif dalam menurunkan BOD pada pengolahan limbah POME dengan metode Fenton.

3.3 ANALISA TSS (*Total Suspended Solids*)

TSS mengacu pada keseluruhan partikel padat yang tidak larut dalam air dan tetap berada dalam bentuk tersuspensi, baik yang dapat dilihat secara kasatmata maupun yang hanya dapat diamati melalui pemeriksaan mikroskopis. Partikel-partikel ini terdiri dari berbagai jenis bahan, seperti lumpur, pasir halus, sisa-sisa organik, mikroorganisme, kotoran, serta partikel debu dan serat tanaman yang berasal dari proses pengolahan kelapa sawit [16].

Penurunan kadar TSS dalam proses Fenton disebabkan oleh terbentuknya radikal hidroksil ($\bullet OH$) yang merupakan agen oksidator kuat dalam sistem reaksi tersebut. Radikal hidroksil terbentuk melalui dekomposisi H_2O_2 yang dikatalisis oleh ion Fe^{2+} dari $FeSO_4$. Reaksi ini meningkatkan laju oksidasi terhadap senyawa organik dan partikel tersuspensi, menyebabkan terjadinya proses flokulasi mikro di mana

partikel kecil saling berikatan dan membentuk flok yang lebih besar dan berat, sehingga mudah mengendap. Seiring peningkatan jumlah radikal yang dihasilkan, proses penggumpalan menjadi lebih efektif, sehingga partikel-partikel padat dapat dipisahkan dari air limbah dengan lebih baik melalui penyaringan atau pengendapan [17].

3.4 ANALISA Minyak & Lemak

Minyak dan lemak dalam air limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) merupakan polutan organik *nonbiodegradable*, yaitu bahan organik yang bersifat sukar diuraikan oleh mikroorganisme. Limbah ini memiliki berat jenis lebih kecil daripada air, sehingga minyak pada air membentuk lapisan tipis di atas air.

Penurunan kadar minyak dan lemak ini erat kaitannya dengan peran radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang terbentuk melalui reaksi antara Fe^{2+} (dari FeSO_4) dan H_2O_2 . Radikal ini merupakan oksidator yang sangat kuat dan reaktif, mampu memecah senyawa organik kompleks, termasuk komponen lemak dan minyak, menjadi senyawa yang lebih sederhana atau bahkan tidak berbahaya. Dalam proses Fenton, senyawa minyak dan lemak yang awalnya tidak dapat diuraikan dan cenderung mengapung di permukaan atau mengendap dalam air limbah, akan dipecah menjadi partikel yang lebih kecil sehingga lebih mudah terurai dalam reaksi oksidasi lanjutan [18].

3.5 Efektivitas Metode Fenton Dalam Pengolahan Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*)

Efektivitas metode Fenton dalam menurunkan kadar pencemar pada limbah cair POME (*Palm Oil Mill Effluent*) sangat bergantung pada rasio antara ferrosulfat (FeSO_4) sebagai sumber ion Fe^{2+} dan organik peroksida (H_2O_2) sebagai oksidator. Reaksi antara kedua reagen ini menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), yang dikenal sebagai salah satu agen pengoksidasi paling kuat dan reaktif dalam sistem pengolahan limbah. Ketika ion Fe^{2+} bereaksi dengan H_2O_2 , terjadi proses dekomposisi H_2O_2 yang mempercepat pembentukan radikal hidroksil. Radikal ini sangat efektif dalam menyerang dan

menghancurkan berbagai senyawa organik kompleks yang umumnya sulit diuraikan melalui metode pengolahan konvensional, sehingga memungkinkan terjadinya degradasi senyawa-senyawa tersebut menjadi molekul yang lebih sederhana, bahkan hingga CO_2 dan H_2O [19].



Gambar 1. Perubahan karakteristik visual limbah POME sebelum (berwarna keruh) dan sesudah proses oksidasi Fenton (lebih jernih).

Pada rasio 1:60 ini memberikan keseimbangan yang ideal antara jumlah ion Fe^{2+} dan molekul H_2O_2 , sehingga reaksi pembentukan radikal hidroksil berlangsung secara efisien dan berkelanjutan. Dengan konsentrasi H_2O_2 yang lebih dominan, namun tetap dalam proporsi yang dapat diaktifkan oleh ion Fe^{2+} , proses oksidasi berlangsung lebih intensif. Ion Fe^{2+} memiliki cukup banyak kesempatan untuk berinteraksi dengan H_2O_2 dalam menghasilkan radikal hidroksil tanpa menyebabkan reaksi samping yang merugikan, seperti pemborosan reagen, pembentukan endapan besi, atau penghambatan reaksi akibat kelebihan katalis [20].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa variasi rasio reagen Fenton terbaik dalam pengolahan limbah cair POME adalah perbandingan molar H_2O_2 dan FeSO_4 sebesar 1:60. Rasio ini terbukti paling efektif dalam menurunkan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Selain itu, waktu pengadukan optimal untuk proses reaksi Fenton adalah 30 menit, di mana waktu ini memungkinkan terbentuknya radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) secara maksimal yang berperan dalam proses oksidasi senyawa organik. Secara keseluruhan, metode Fenton terbukti efektif untuk pengolahan limbah POME, dengan capaian efisiensi penurunan sebesar 91,49% untuk COD, 65% untuk BOD, 74% untuk TSS, dan 92,37% untuk minyak dan lemak.

Efektivitas ini menunjukkan bahwa metode Fenton dapat menjadi alternatif teknologi pengolahan limbah cair kelapa sawit yang efisien, cepat, dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abid H., dkk. (2017) Oxidative Photodegradation of Pyrene and Fluoranthene by Fe-Based and Zn-Based Fenton Reagents. *MDPI AG, Sustainability*
- Adjovu, G., et al., 2023
- Ethica, S. N. (2018). Buku referensi bioremediasi limbah biomedik cair. Deepublish
- Guo, Y., Xue, Q., Zhang, H., Wang, N., Chang, S., Wang, H., PanG, H., dan Chen, H. (2018). Treatment of Real Benzene Dye Intermediates Wastewater by The Fenton Method: Characteristics and Multi-Response Optimization. *The*
- Gusrawaldi, M., Parinduri, L. and Suliawati (2020). Perencanaan Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Pembangkit Listrik Pabrik Kelapa Sawit. *Journal of Electrical Technology*, 5(1), 38–42
- Hermansyah, M. H., Putri, Y. P., Setiawan, A. A., Eddy, S., Jumingin, & Saputra, W. (2024). Uji Padatan Tersuspensi Total (Tss) Pada Sampel Air Limbah Sawit Secara Gravimetri. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. volume (2), halaman 27-33.
- Lesu W. S., Ali M., Rosariawari F. (2020). Proses Foto Fenton Dalam Reaktor Resirkulasi Untuk Menyisihkan Beban Pencemar Pada Lindi. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 6 (1): 54-65.
- Maufilda, Dila. 2015. Kesehatan Masyarakat. Kandungan BOD, COD, TSS, pH, dan minyak atau lemak pada air limbah di inlet dan outlet industri cold storage udang di PT.Panca Mitra Multi Perdana Kapongan Situbondo. *Universitas Negeri Jember*. Hal 1-50.
- Neyens E & Baeyens J. (2016). Fenton and Fenton-like Processes in Wastewater Treatment. *Journal of Hazardous*
- Paramaeshela, B., Suwardiyono, Hartati I. (2019) Pengolahan Limbah Cair Industri Gondorukem terpenting menggunakan metode Fenton (Fe²⁺/H₂O₂) untuk mendegradasi COD. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia Vol 4*, No 2.
- Rachmawati, S. (2017). Analisis Penurunan Kadar COD Air Limbah Industri. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 64-68
- Rahardja, I. B., & Ambarita, S. R. (2017). Rencana Pengelolaan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) untuk Land Application. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 9(1), 9-16.
- Rais, D. R., & Setiawan, O. (2024). Pengolahan limbah industri sarung dengan metode Fenton. *Jurnal Integrasi Proses dan Lingkungan*, 1(2), 55–61.
- Raja M. (2021). Karakteristik Kandungan Unsur N, P Dan K Limbah Cair Kelapa Sawit Kolam Anaerob Dengan Kontak Kuantitas Bentonit. *Jurnal Agrium*, Vol. 18. No. 2.
- Ramayanti, D., & Amna, U. (2019). Analisis Parameter COD (Chemical Oxygen Demand) dan pH (potential Hydrogen) Limbah Cair di PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM) Lhokseumawe. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 1(1), 16-2
- Sari, A. A., & Sudarno, S. (2019). Integrasi Pengolahan Air Limbah Lindi Hitam dengan COD dan TSS Tinggi dari Proses Pembuatan Bioetanol. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1): 100–106
- Shigetomi Y, Shimura Y, Yamamoto Y. (2020). Trends in Global Dependency on the Indonesian Palm Oil and Resultant Environmental Impacts. *Scientific Reports*. 10:206-224
- Sitinjak, RR (2018). Respons setelah pertumbuhan bibit kelapa sawit (*elaeis guineensis* Jacq.) di pre-nursery pemberian ekstrak bawang merah (*allium cepa* L.) dengan waktu perendaman yang berbeda. *Agoprimatech*, 2(1), 1-9.
- Uzoije, A. P., Agunwamba, J. C., Ezeokonkwo, J. C., & Onwuka, O. S. (2015). Oil and grease removal from vegetable oil-polluted wastewater; advanced oxidation process approach (Fenton Process). *Federal University of Technology Owerri Repository*.