

UTILIZATION OF IRON SCRAP FOR PALM OIL MILL EFFLUENT TREATMENT BY FENTON AND PHOTO-FENTON PROCESSES

Diana Novita Sari, Dea Amelia, Muhammad David Ramadhon dan Yuant Tiandho*
Jurusan Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung
Kampus Peradaban UBB, Balunijuk, Bangka, Indonesia 33172

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 Sep 2021,

Revised 06 Apr 2022,

Accepted 27 Apr 2022

Available online 30 Apr 2022

Keywords:

- ✓ POME
- ✓ Fenton
- ✓ Photo-Fenton
- ✓ Scrap iron

*corresponding author:

yuant@ubb.ac.id

Phone: +628977567902;

[https://doi.org/10.31938/jsn.v](https://doi.org/10.31938/jsn.v12i2.341)

[12i2.341](https://doi.org/10.31938/jsn.v12i2.341)

ABSTRACT

The increase in the amount of palm oil production impacts increasing the total liquid waste from the processing of palm oil. Palm oil mill effluent (POME) has high chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) parameters that can cause environmental pollution. This study processed POME using the Fenton mechanism using reagents derived from scrap iron. The Fenton mechanism is one of the advanced oxidation process technology (AOPs) in wastewater treatment. To improve the performance of the Fenton mechanism, the researchers integrated it with UV-rays in the photo-Fenton mechanism scheme. Fenton and photo-Fenton processes effectively reduce the pH, BOD, and COD of POME. The COD removal efficiency was 99.91%, while the BOD removal efficiency was 99.93%. The more FeSO_4 added to the wastewater, the more significant the reduction of BOD and COD in the Fenton and photo-Fenton processes. Also, photo-Fenton is more effective than the Fenton process to reduce BOD and COD in the POME.

ABSTRAK

Pemanfaatan Besi Bekas untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Melalui Proses Fenton dan Foto-Fenton

Meningkatnya jumlah produksi kelapa sawit, berdampak pada peningkatan total limbah cair dari hasil pengolahan kelapa sawit. Limbah cair industri kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) memiliki nilai parameter *chemical oxygen demand* (COD) dan *biochemical oxygen demand* (BOD) yang tinggi sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Di dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan POME menggunakan mekanisme Fenton menggunakan reagen yang berasal dari besi bekas. Mekanisme Fenton adalah salah satu pengembangan dari teknologi proses oksidasi maju (AOPs) dalam pengolahan air limbah. Untuk meningkatkan performa dari mekanisme Fenton, peneliti mengintegrasikan system tersebut dengan sinar-UV dalam skema mekanisme foto-Fenton. Proses Fenton dan foto-Fenton sangat efektif dalam menurunkan pH, BOD dan COD dari POME. Efisiensi penyisihan COD mencapai 99,91%, sedangkan efisiensi penyisihan BOD mencapai 99,93%. Semakin banyak FeSO_4 yang ditambahkan ke dalam air limbah maka semakin besar reduksi BOD dan COD dalam proses Fenton dan foto-Fenton. Selain itu, foto-Fenton lebih efektif dibandingkan dengan proses Fenton dalam mereduksi BOD dan COD dalam POME

Kata kunci : POME, Fenton, foto-Fenton, besi bekas

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit adalah salah satu penyumbang devisa terbesar bagi negara Indonesia. Dalam lima tahun terakhir, luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia terus meningkat dari sekitar 11 juta ha pada tahun 2015 menjadi lebih dari 14 juta ha pada tahun 2019 (Ditjenbun, 2019). Hal ini tidak terlepas dari terus

meningkatnya kebutuhan kelapa sawit yang dapat menghasilkan berbagai produk turunan dalam sektor pangan, energi, hingga kosmetik.

Di sisi lain, meningkatnya jumlah produk industri kelapa sawit juga berdampak pada peningkatan total limbah yang dihasilkan. Umumnya, terdapat dua jenis limbah industri kelapa sawit yaitu limbah dalam bentuk cair dan padat (Sitorus *et al.*, 2020). Adapun limbah cair



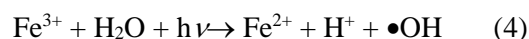
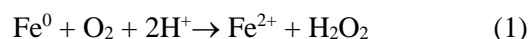
merupakan jenis limbah yang membutuhkan perhatian khusus karena mudah penyebarannya sehingga potensi merusak lingkungannya tinggi.

Pada industri kelapa sawit, dihasilkan 5-7 ton limbah cair atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dengan produksi 1 ton minyak sawit (Iskandar *et al.*, 2018). POME merupakan limbah cair dengan bau yang tidak sedap dan memiliki nilai parameter *chemical oxygen demand* (COD) dan *biochemical oxygen demand* (BOD) yang tinggi sehingga dapat menyebabkan pencemaran serius dan masalah pada berbagai sumber air (Paramitadevi *et al.*, 2017).

Sistem kolam adalah metode paling konvensional untuk pengolahan POME. Lebih dari 85% pabrik kelapa sawit di Indonesia telah mengadopsi sistem kolam untuk pengolahan POME (Paramitadevi *et al.*, 2017). Namun, hanya sedikit yang dioperasikan dalam skala penuh karena kinerja yang tidak memuaskan, investasi modal yang tinggi, membutuhkan area yang luas, bau busuk, emisi gas rumah kaca, dan waktu retensi hidrolik yang lama (Suryawan *et al.*, 2020). Untuk memecahkan masalah lingkungan, bermunculan metode baru untuk mengatasi POME. Beberapa tahun terakhir, metode alternatif telah diteliti oleh peneliti untuk mengatasi kekurangan dari sistem kolam untuk pengolahan POME seperti proses oksidasi lanjutan atau *Advanced oxidation processes* (AOPs) (Saeed *et al.*, 2016), membran filtrasi (Sajjad *et al.*, 2018), koagulasi/flokulasi (Chung *et al.*, 2018), dan adsorpsi (Said *et al.*, 2016). Meskipun masih berjalan dalam skala laboratorium, namun metode-metode tersebut sudah menunjukkan potensi yang baik dibandingkan dengan metode konvensional.

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 (Ertosun *et al.*, 2019). Salah satu jenis AOPs yang tengah dikembangkan secara intensif adalah metode Fenton dan foto-Fenton. Mekanisme ini melibatkan radikal yang dihasilkan oleh reaksi antara senyawa H_2O_2 dengan ion besi. Besi valensi nol dalam skala nano bereaksi cepat dengan oksigen untuk menghasilkan oksidan kuat. Awalnya, permukaan Fe^0 akan mentransfer dua elektron ke O_2 , menghasilkan oksidasi besi besi (Fe^{2+}) dan menghasilkan H_2O_2 (Persamaan 1). H_2O_2 dapat direduksi menjadi molekul air dengan tambahan transfer dua elektron dari besi (Persamaan 2).

Dalam reaksi Fenton, Fe^{2+} dioksidasi untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$) yang memiliki kemampuan pengoksidasi kuat terhadap banyak senyawa organik (Persamaan 3). Pembentukan radikal $\bullet OH$ sebagian besar terjadi melalui Persamaan 4 pada proses foto-Fenton, terjadi reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} , dalam proses ini Fe^{3+} mengkatalisis pembentukan radikal $\bullet OH$ dengan penyinaran sinar UV (Segura *et al.*, 2019).



Di sisi lain, pencemaran lingkungan juga dapat disebabkan oleh kehadiran logam seperti besi bekas. Meningkatnya jumlah peralatan yang manusia gunakan saat ini, tidak terlepas dari penggunaan besi dalam peralatan-peralatan tersebut. Besi dapat ditemukan dengan mudah sebagai bahan pengemasan kaleng, *furniture*, hingga berbagai peralatan memasak. Namun setelah tidak terpakai lagi, maka besi tersebut dibuang begitu saja. Sehingga jika hal ini dibiarkan dapat menimbulkan permasalahan lingkungan karena besi sulit terdegradasi dan pemanfaatannya kembali masih sangat minim (Chandane *et al.*, 2019).

Oleh karena itu, untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat POME dan besi bekas, maka dalam penelitian ini dilakukan analisis potensi penggunaan besi bekas sebagai sumber reagen Fenton dalam bentuk senyawa $FeSO_4$. Adapun reagen Fenton tersebut digunakan untuk memperbaiki POME, khususnya berkaitan dengan aspek COD dan BOD, sehingga bersifat ramah lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi air limbah industri kelapa sawit yang diperoleh dari salah satu industri kelapa sawit yang ada di Bangka, sabut cuci berbahan *stainless steel*, H_2SO_4 , H_2O_2 , akuades, kertas saring dan tisu. Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi gelas piala, gelas ukur, labu ukur, corong gelas, botol kaca, batang pengaduk kaca, pipet tetes, dan timbangan digital.

Metode

Sintesis FeSO₄ dari Besi Bekas

Besi bekas yang digunakan dalam sintesis H₂SO₄ ini adalah sabut cuci berbahan *stainless steel*. Sebelum digunakan, sabut tersebut dicuci sampai bersih dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Setelah itu, sabut dipotong kecil-kecil untuk digunakan dalam proses selanjutnya. Sebanyak 30 gram sabut dimasukkan ke gelas piala ukuran 500 mL kemudian ditambahkan 200 mL H₂SO₄ 2,8 M dan dидiamkan selama 24 jam. Hasil perendaman disaring dan dikristalkan pada suhu 100°C. Analisis karakteristik selanjutnya dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluoresence* (XRF).

Proses Fenton dan Foto-Fenton

Pada penelitian ini digunakan dua metode pengolahan POME yaitu proses Fenton (tanpa disinari dengan sinar-UV) dan proses foto-Fenton (disinari dengan sinar-UV). Pengolahan POME dengan metode Fenton dan foto-Fenton dilakukan dengan memvariasikan dosis FeSO₄ yaitu 0,75; 1; 1,25 gram yang dimasukkan ke gelas piala 500 mL kemudian dicampurkan dengan 250 mL POME dan 2,5 mL H₂O₂. Larutan tersebut diaduk dengan spatula kaca selama 1 menit kemudian didiamkan selama 24 jam. Setelah peroses perendaman, sampel uji difiltrasi dengan kertas saring dan dilanjutkan dengan uji karakterisasi POME. Parameter uji air limbah meliputi pH, COD, dan BOD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

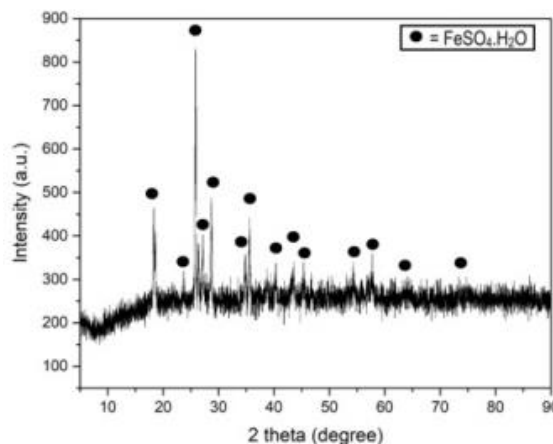
Karakterisasi FeSO₄

Data pengukuran XRF pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sampel FeSO₄ yang disintesis dalam penelitian ini terdiri dari unsur Fe, S, dan Cr. Hal ini menunjukkan telah terbentuk besi sulfat. Adanya Cr dikarenakan limbah besi yang digunakan adalah *stainless steel*. Namun demikian, jumlah Cr tidak signifikan dibandingkan dengan jumlah Fe dan S.

Tabel 1. Hasil XRF dari Sampel

Unsur	Kadar (%)
S	17,58
Cr	2,85
Fe	79,57
Total	100,00

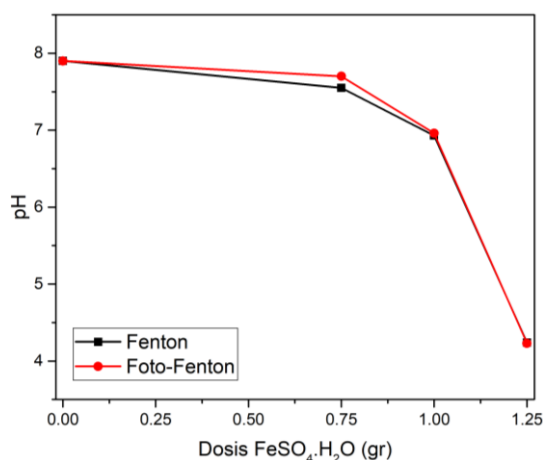
Selanjutnya melalui analisis XRD pada Gambar 1, terlihat bahwa fasa kristal yang terbentuk pada penelitian ini adalah FeSO₄•(H₂O). Hal tersebut diindikasikan oleh beberapa puncak tertinggi yang terletak pada 2θ: 25,88°, 28,59°, 35,58°, 18,28°, dan 26,43°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penelitian ini telah berhasil mensintesis reagen FeSO₄ dari besi bekas.



Gambar 1. Karakterisasi XRD Sampel

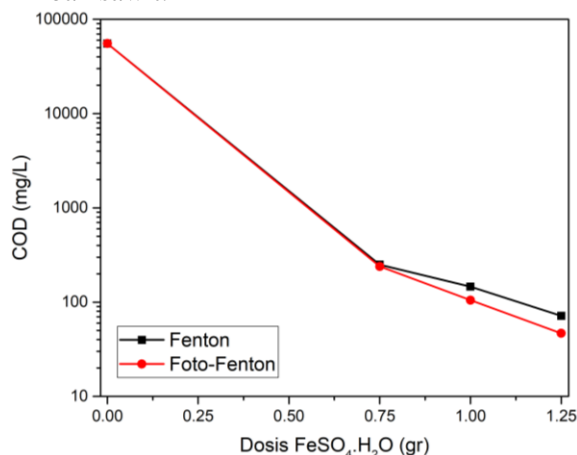
Karakterisasi Pengolahan POME

Pada Gambar 2 disajikan hasil pengukuran pH POME dengan mekanisme Fenton dan foto-Fenton. Tampak bahwa semakin tinggi dosis FeSO₄ yang diberikan maka semakin rendah nilai pH POME setelah perlakuan. Hal ini dikarenakan penambahan dosis FeSO₄ tentunya akan semakin menurunkan pH sebagai efek samping dari proses oksidasi. Selain itu, tampak bahwa kedua jenis metode pengolahan, yaitu Fenton dan Foto-Fenton menghasilkan perubahan pH yang tidak berbeda secara signifikan. Selisih keduanya hanya berada pada rentang 0,01 – 0,15.



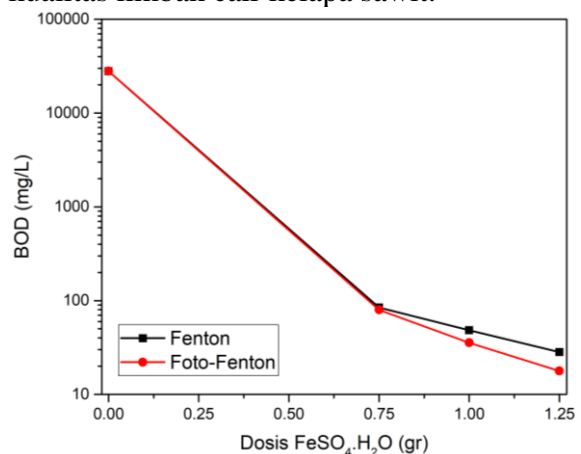
Gambar 2. Pengaruh Dosis FeSO₄.H₂O Terhadap pH Hasil Pengolahan POME

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran COD dari POME setelah perlakuan Fenton. Mekanisme Fenton sangat efektif dalam menurunkan kadar COD pada POME. Awalnya kadar COD pada POME adalah 55.276 mg/L. Tingginya nilai parameter COD dari POME tersebut sesuai dengan berbagai penelitian lain yang menyatakan bahwa nilai COD POME berkisar dari 40.000 – 60.000 mg/L (Ramadhan *et al.*, 2020). Tampak bahwa perlakuan Fenton dan foto-Fenton berhasil menurunkan COD POME secara signifikan. Penurunan tersebut mencapai 99,91% dari kadar COD mula-mula yang terjadi pada pemberian $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ sebanyak 1,25 gram. Turunnya konsentrasi COD menandakan berkurangnya senyawa organik dalam limbah cair, karena pada dasarnya pengukuran COD bertujuan untuk melihat banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air. Berdasarkan data yang diperoleh, diketahui bahwa perlakuan foto-Fenton lebih efektif daripada perlakuan Fenton dalam penurunan kadar COD POME. Hasil tersebut sesuai penelitian sebelumnya, yang menyatakan bahwa dengan adanya penerangan lampu UV akan meningkatkan efektivitas mekanisme Fenton dalam mendegradasi COD. Metode foto-Fenton dianggap lebih efektif karena proses generasi radikal hidroksil yang sangat reaktif dalam menghancurkan kimia organik (Gusa *et al.*, 2021). Selain itu, tampak dari kedua perlakuan bahwa penambahan dosis FeSO_4 yang semakin tinggi berbanding lurus dengan penurunan COD air limbah. Hal ini terjadi karena ion besi yang lebih banyak dapat menghasilkan radikal hidroksil yang lebih banyak pula. Dengan demikian, tingginya jumlah FeSO_4 sebagai katalis akan mempercepat degradasi polutan pada limbah cair industri limbah sawit.



Gambar 3. Pengaruh Dosis $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Terhadap COD Hasil Pengolahan POME

Gambar 4 menyajikan kadar BOD pada POME. Nilai awal BOD dari POME dalam penelitian ini adalah 27.980 mg/L dan hal tersebut sesuai dengan penelitian Ramadhan *et al.*, (2020) yang menyatakan bahwa rentang BOD dari POME adalah 20.000 – 30.000 mg/L. Tampak bahwa perlakuan Fenton dan foto-Fenton secara efektif dapat menurunkan BOD dari POME. Setelah perlakuan tersebut nilai BOD dapat mengalami penurunan hingga 99,93%. Penurunan kadar BOD pada limbah cair industri kelapa sawit (POME) sebanding dengan penambahan dosis FeSO_4 . Selain itu, perlakuan foto-Fenton memiliki efek yang lebih baik dibandingkan dengan Fenton. Nilai penurunan BOD dari foto-Fenton secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan Fenton. Dengan demikian, mekanisme Fenton dan foto-Fenton dapat mendegradasi bahan organik yang sulit terurai sehingga dapat memperbaiki kualitas limbah cair kelapa sawit.



Gambar 4. Pengaruh Dosis $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Terhadap BOD Hasil Pengolahan POME

KESIMPULAN

Melalui perendaman dalam H_2SO_4 , FeSO_4 berhasil disintesis dari besi bekas. Mekanisme Fenton sangat efektif dalam pengolahan POME. Hal ini dikarenakan proses Fenton dapat menyisihkan COD mencapai 99,91%, sedangkan efisiensi penyisihan BOD mencapai 99,93%. Semakin banyak FeSO_4 yang ditambahkan ke dalam air limbah, semakin efektif perlakuan Fenton. Secara umum, perlakuan foto-Fenton lebih efektif dibandingkan dengan Fenton. Melalui komparasi dengan standar baku mutu

limbah dari industri minyak pada PERMENLH KEP 51-/MENLH/10/1995 maka dapat dinyatakan bahwa setelah dilakukan perlakuan Fenton dan foto-Fenton maka limbah POME telah memenuhi standar baku mutu..

SARAN

Sesuai dengan PERMENLH KEP 51-/MENLH/10/1995 Tentang limbah cair industri minyak sawit maka disarankan untuk menganalisis beberapa parameter lain seperti minyak dan lemak serta amonia total dari limbah kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih peneliti ucapkan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa (PKM-RE) tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandane, P., Ladke, J., Jori, C., Deshmukh, S., Zinjarde, S., Chakankar, M., ... & Jadhav, U. (2019). Synthesis of magnetic Fe₃O₄ nanoparticles from scrap iron and use of their peroxidase like activity for phenol detection. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103083.
- Chung, C. Y., Selvarajoo, A., Sethu, V., Koyande, A. K., Arputhan, A., & Lim, Z. C. (2018). Treatment of palm oil mill effluent (POME) by coagulation flocculation process using peanut-okra and wheat germ-okra. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(9), 1951-1970.
- Direktorat Jenderal Perkebunan [Ditjenbun]. (2019). *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2017-2019*. Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Ertosun, F. M., Cellat, K., Eren, O., Gül, Ş., Kuşvuran, E., & Şen, F. (2019). 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*, 1(11), 1-6.
- Gusa, R. F., Sari, D. N., Afriani, F., Sunanda, W., & Tiandho, Y. (2021). Removing BOD, COD, and Decolorization of Batik Cual Wastewater Using Fenton Mechanism. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 10(1), 139-148.
- Iskandar, M. J., Baharum, A., Anuar, F. H., & Othaman, R. (2018). Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology—A review. *Environmental technology & innovation*, 9, 169-185.
- Paramitadevi, Y. V. (2017). Technical problems of wastewater treatment plant in crude palm oil industry A case study in PT Socfin Indonesia-Kebun Sungai Liput, Nang groe Aceh Darussalam Province. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 65, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
- Ramadhan, M.B., Wardana, Kahar, A. (2020). Pengaruh pH terhadap COD, BOD, dan VFA pada pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dalam bioreactor anaerobic. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Berwawasan Lingkungan 2020*, 69-74.
- Saeed, M.O., Azizli, K.A.M., Isa, M.H., Ezechi, E.H. (2016). Treatment of POME using Fenton oxidation process: removal efficiency, optimization, and acidity condition. *Desalin. Water Treat.* 57 (50), 23750–23759.
- Sajjad, A. A., Teow, Y. H., & Hussain, A. W. M. (2018). Sustainable approach of recycling palm oil mill effluent (POME) using integrated biofilm/membrane filtration system for internal plant usage. *Jurnal Teknologi*, 80 (4).
- Said, M., Hasan, H.A., Tusirin, M., Nor, M., 2016. Removal of COD, TSS and colour from palm oil mill effluent (POME) using montmorillonite. *Desalin. Water Treat.* 3994, 1–8.
- Sitorus, Y. R., & Mardina, V. (2020). Karakteristik kimia dari pengolahan limbah cair kelapa sawit PTPN Y. *Jurnal Enviroment Science*, 4(2), 58-66.
- Suryawan, I. W. K., Septiariva, I. Y., & Sarwono, A. (2020). Energy Conversion of Industrial Wastewater on Microbial Fuel Cell (MFC)-Based with Biocatalysts and Pretreatments: A Review. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 4(4), 102-109.