



PENGOLAHAN AIR LINDI TPA PIYUNGAN MEMPERGUNAKAN *ADVANCED OXIDATION PROCESS* (AOP) DENGAN KOMBINASI OZON (O₃) DAN HIDROGEN PEROKSIDA (H₂O₂)

Tri Sanjaya¹, Hudori²

^{1,2}*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5, Krawitan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman, Yogyakarta 55584*

Korespondensi Email: 21513047@students.uii.ac.id

Abstrak	Informasi Artikel
<p><i>Leachate is a liquid waste generated from the decomposition of solid waste in landfill sites and typically contains high concentrations of organic pollutants. This study aims to evaluate the effectiveness of an Advanced Oxidation Process (AOP) combining ozone (O₃) and hydrogen peroxide (H₂O₂) in reducing COD and TSS levels in landfill leachate. The leachate samples were collected from Piyungan Landfill, Bantul. The experiments were conducted using a batch reactor with varying doses of H₂O₂ (10, 20, 30, and 40 ml) and ozonation times of 20, 40, 60, and 80 minutes. The results showed that the highest reduction in COD reached 69% at a 40 ml dose of H₂O₂ with 60 minutes of ozonation. Meanwhile, TSS reduction reached 43% at the same dose of H₂O₂ with 80 minutes of ozonation. Based on these findings, the combination of O₃ and H₂O₂ in the AOP method is effective for treating landfill leachate, particularly for reducing COD and TSS levels.</i></p>	<p>Diterima: 13 September 2025 Direvisi: 23 September 2025 Dipublikasikan: 26 September 2025</p>
	<p>Keywords <i>AOP, Air Lindi, COD, TSS</i></p>

I. Pendahuluan

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan lokasi akhir pengelolaan sampah, khususnya di wilayah perkotaan yang lahannya terbatas [1]. Penelitian ini dilakukan di TPA Piyungan, yang merupakan tempat pemrosesan akhir sampah di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan kapasitas sampah yang dapat ditampung sebesar 2,7 juta m³ [2]. TPA ini mulai beroperasi sejak 1995 dengan masa operasional direncanakan 20 tahun hingga 2015, namun masih digunakan hingga awal 2024 dengan memaksimalkan zona 1 yang sebelumnya tidak aktif [3]. Timbunan sampah di TPA Piyungan menghasilkan air lindi sekitar 115 m³ per hari saat musim kemarau, dan dapat meningkat hingga 400 m³ per hari saat musim hujan. Lindi ini tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan tanpa

pengolahan, karena dapat menimbulkan pencemaran yang membahayakan ekosistem perairan, lingkungan sekitar, serta kesehatan manusia [4].

Pada saat ini, terdapat Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) yang dibangun untuk menurunkan konsentrasi pencemar pada air lindi. Unit pengolahan di IPL Piyungan terdiri dari pengolahan secara fisik mulai dari bar screen, bak koagulasi, bak ekualisasi, sampai bak sedimentasi. Kemudian pengolahan dilanjutkan dengan proses biologis menggunakan Aerobic Baffled Reactor (ABR), bak aerasi dan lanjut dialirkan ke bak maturasi. Unit pengolahan terakhir yaitu bak klorinasi sebelum dibuang melalui outlet IPL [5].

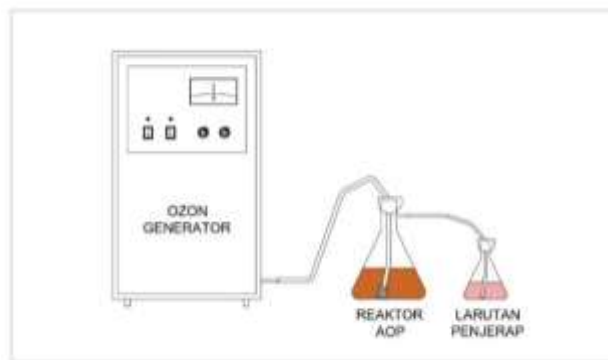
Secara umum, pengolahan air lindi di Indonesia masih menggunakan pengolahan konvensional seperti kolam stabilisasi. Meskipun metode konvensional ini mampu mengurangi kandungan organik, namun memiliki kelemahan seperti membutuhkan waktu yang lama dan lahan yang luas. Sebagai alternatif, metode Advanced Oxidation Process (AOP) menawarkan efisiensi removal yang sebanding, namun dengan waktu pengolahan yang jauh lebih singkat, sehingga lebih direkomendasikan untuk digunakan. AOP merupakan teknik yang dapat diterapkan untuk menyisihkan warna, mengurangi kandungan bahan organik, serta merubah air lindi menjadi lebih mudah di degradasi [6]. Teknologi ini bekerja dengan menggabungkan beberapa jenis oksidator kuat, seperti ozon (O_3), hidrogen peroksida (H_2O_2), dan/atau sinar ultraviolet (UV), yang dalam reaksinya mampu menghasilkan radikal hidroksil ($OH\bullet$). Radikal hidroksil ini dikenal sangat reaktif untuk proses penguraian air limbah dengan menggunakan oksidator kuat dan memiliki kemampuan oksidasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan oksidator tunggal, sehingga mampu merombak ikatan kimia kompleks dalam senyawa polutan menjadi senyawa yang lebih sederhana, bahkan hingga menjadi karbon dioksida dan air [7]. Oksidator kuat yang dipakai dapat berupa campuran ozon dengan hidrogen peroksida ($O_3 + H_2O_2$), ozon dengan sinar ultra violet ($O_3 + UV$), dan campuran hidrogen peroksida dengan sinar ultra violet ($H_2O_2 + UV$) [8].

Pada penelitian ini, metode AOP yang digunakan berbasis ozon (O_3) dan hidrogen peroksida (H_2O_2). Ozon sendiri merupakan salah satu oksidator yang kuat memiliki nilai E° sebesar 2,07 volt. Ozon dapat terurai menjadi $OH\bullet$ di dalam air, yang merupakan oksidator paling kuat dengan potensial oksidasi sebesar 2,8 volt. Proses ozonisasi dan oksidasi lanjut yang mempercepat dekomposisi ozon menjadi $OH\bullet$. Metode ini dianggap sebagai metode yang efektif untuk mengolah lindi [6]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja metode AOP berbasis ozon dan hidrogen peroksida dalam pengolahan air lindi di TPA Piyungan.

II. Bahan dan Metode

Pengambilan sampel air lindi dilakukan di TPA Piyungan yang berlokasi di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Proses pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang metode pengambilan air limbah. Pada penelitian ini, sampling dilakukan pada *inlet* IPL TPA Piyungan. Setelah dilakukan sampling, air lindi kemudian diuji terlebih dahulu guna untuk mengetahui kandungan awal air lindi sesuai dengan parameter yang telah

ditentukan yaitu COD dan TSS. Pengujian sampel dan pelaksanaan percobaan dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Ozon generator yang digunakan pada penelitian ini yaitu Iontech QJ-8005K dengan kapasitas 10 g/jam dan tegangan listrik sebesar 220V/50Hz. Pada penelitian ini menggunakan H₂O₂ dengan kadar 50%. Variasi dosis H₂O₂ diberikan mulai dari 10, 20, 30, dan 40 mL. Sedangkan waktu ozonisasi dilakukan dari 20, 40, 60 sampai 80 menit. Adapun skema proses penerapan metode AOP pada air lindi dapat dilihat pada Gambar 1. Proses ozonisasi dengan sampel yaitu air lindi sebanyak 1000 ml pada erlenmeyer 2000 ml dan larutan KI sebanyak 250 ml untuk menjerap sisa ozon yang terlepas pada proses ozonisasi pada sampel air lindi. Larutan H₂O₂ dimasukkan terlebih dahulu ke dalam sampel sebelum sampel terpapar oleh ozon. Selanjutnya ozon dialirkan dari ozon generator ke sampel air lindi di erlenmeyer hingga terjadi proses oksidasi oleh ozon dan peroksida terhadap senyawa organik yang terkandung pada sampel.



Gambar 1. Skema Reaktor AOP

III. Hasil dan Diskusi

3.1 Karakterisasi Air Lindi

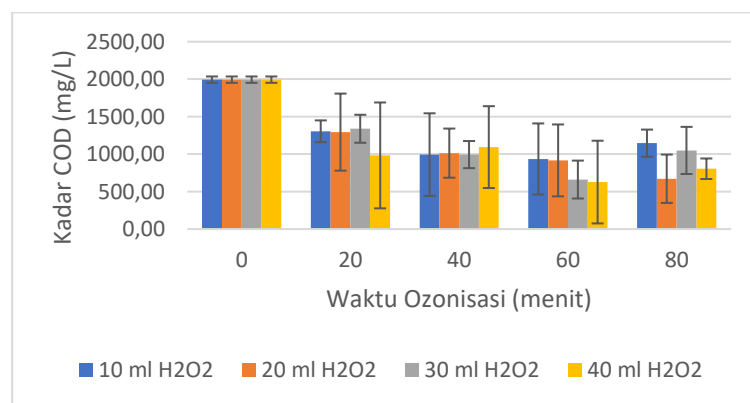
Hasil pengukuran karakteristik awal air lindi yang diperoleh dalam penelitian ini dibandingkan hasilnya dengan data dari DLHK Yogyakarta. Berdasarkan Tabel 1, terlihat adanya perbedaan data kualitas air lindi TPA Piyungan. Hal ini dikarenakan data dari DLHK DIY merupakan hasil sampling pada bulan Februari, sedangkan sampling pada penelitian ini dilakukan pada bulan April dan Mei. Terdapat faktor alami seperti kondisi musim dan curah hujan yang berbeda menyebabkan perbedaan karakteristik tersebut.

Tabel 1. Karakteristik Air Lindi

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji DLHK	Hasil Uji Penelitian	Baku Mutu
1	pH	-	8,13	8,51	6 - 9
2	COD	mg/L	5239	1993,67	300
3	TSS	mg/L	20	59	100

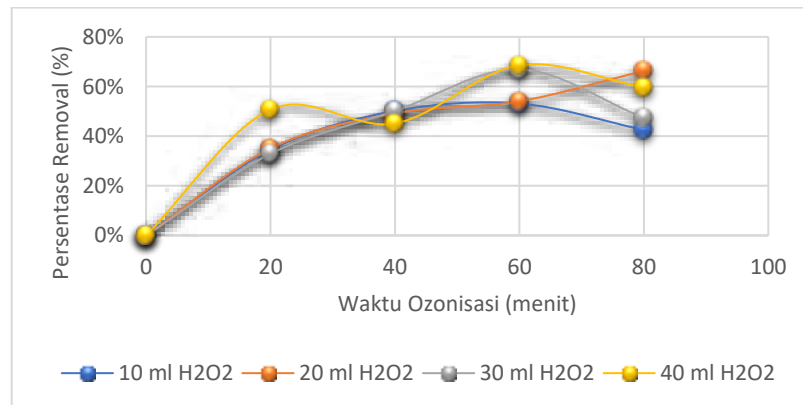
3.2 Pengaruh AOP pada Penurunan COD

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui penurunan COD yang terkandung pada air lindi pada saat sebelum dan sesudah pengolahan dengan metode AOP. Berdasarkan Gambar 2, pola penurunan COD menunjukkan dua kecenderungan, yaitu tren penurunan yang konsisten dan mengalami fluktuasi. Dari data yang tersedia, penurunan COD paling signifikan yaitu pada variasi H_2O_2 sebesar 20 mL dengan waktu ozonisasi 80 menit, variasi H_2O_2 30 mL dan 40 mL, masing-masing pada waktu ozonisasi selama 60 menit. Walaupun hasil akhir belum memenuhi baku mutu, namun penurunan pada ketiga variasi tersebut cukup signifikan. Ketidakkonsistenan hasil penyisihan menunjukkan bahwa efisiensi proses AOP tidak berlangsung secara stabil.



Gambar 2. Pengaruh AOP Kombinasi H_2O_2 terhadap COD

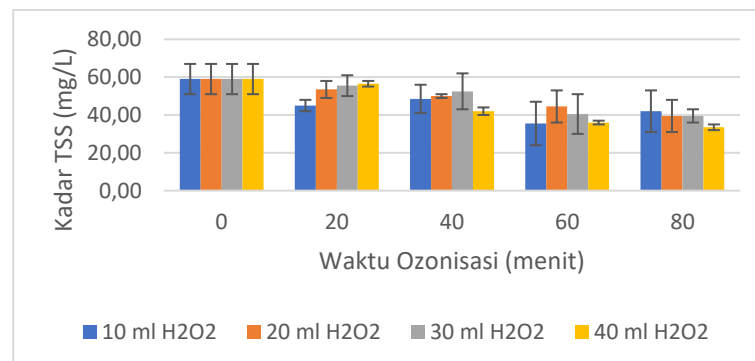
Secara keseluruhan, proses penyisihan COD masih belum mencapai hasil yang maksimal dan menunjukkan pola fluktuatif. Kondisi ini erat kaitannya dengan sifat ozon yang sangat reaktif namun tidak stabil di dalam air. Ozon mudah terdekomposisi, terutama dalam kondisi tertentu, dan menghasilkan radikal bebas seperti radikal hidroksil ($OH\cdot$) yang memulai reaksi oksidasi lanjutan terhadap senyawa organik. Secara umum, tren penurunan COD dalam limbah mengikuti dua tahapan reaksi. Tahap pertama adalah fase penurunan cepat, di mana laju reaksi berlangsung sangat tinggi akibat tingginya konsentrasi senyawa organik yang mudah teroksidasi. Pada tahap ini, COD dapat berkurang secara signifikan dalam waktu singkat. Namun, setelah itu proses memasuki tahap kedua, yaitu fase perlambatan reaksi, yang ditandai dengan menurunnya efisiensi oksidasi. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya senyawa antara seperti karbon organik yang bersifat lebih stabil, sehingga lebih sulit diurai oleh radikal oksidatif. Hal ini menunjukkan meskipun AOP efektif di awal proses, optimalisasi parameter diperlukan agar proses lanjutan tetap berjalan efisien dan hasil akhir dapat memenuhi baku mutu [9]. Jika dilihat pada Gambar 3, persentase removal pada penurunan kandungan COD dengan AOP cukup signifikan jika dibandingkan tanpa pengolahan. Namun, pada pengolahannya, terdapat data yang menunjukkan tren penurunan yang konsisten dan ada pula yang mengalami fluktuasi.



Gambar 3. Persentase Removal Pengaruh AOP terhadap COD

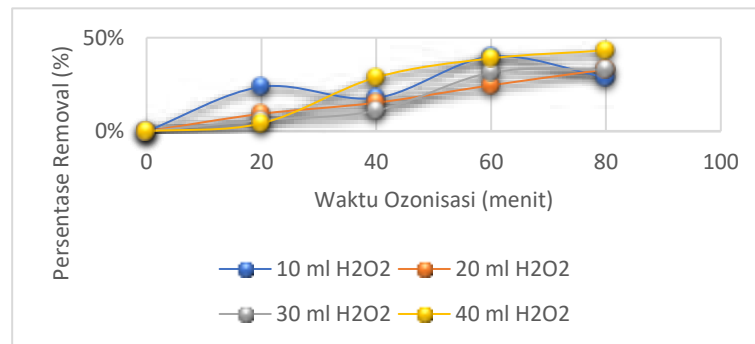
3.3 Pengaruh AOP terhadap Penurunan TSS

Pada Gambar 4 terlihat penurunan TSS dengan meningkatnya waktu ozonisasi dan dosis hidrogen peroksida. Penurunan TSS paling signifikan terjadi pada dosis H₂O₂ sebesar 10 mL dengan waktu ozonisasi 60 menit, serta dosis H₂O₂ 40 mL dengan waktu ozonisasi 60 menit dan 80 menit. Walaupun pada penurunan kandungan TSS ini dominan lebih konsisten namun ada beberapa variasi yang masih mengalami fluktuasi. Saat terjadi penurunan, ini disebabkan oleh keberadaan radikal hidroksil (OH•) yang bereaksi langsung dengan partikel organik tersuspensi dalam air limbah, sehingga proses oksidasi berlangsung secara efektif. Namun, saat kandungan TSS mengalami peningkatan, kondisi ini mengindikasikan bahwa ozon (O₃) belum sepenuhnya bereaksi dengan senyawa organik lainnya akibat sifat ozon yang tidak stabil dan cenderung mudah terurai sebelum membentuk radikal hidroksil secara optimal. Saat terjadi penurunan kembali setelah peningkatan, hal ini menunjukkan bahwa pada titik tersebut telah terbentuk jumlah radikal hidroksil yang lebih banyak, sehingga proses degradasi terhadap senyawa pencemar, termasuk partikel tersuspensi, dapat berlangsung lebih efektif. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa efektivitas AOP sangat bergantung pada kestabilan reaksi dan waktu paparan yang tepat [10].



Gambar 4. Pengaruh AOP Kombinasi H₂O₂ terhadap TSS

Jika dilihat pada Gambar 5, persentase removal pada penurunan kandungan TSS dengan AOP cukup signifikan jika dibandingkan tanpa pengolahan. Namun, pada pengolahannya, terdapat data yang menunjukkan tren penurunan yang konsisten dan ada pula yang mengalami fluktuasi. Pada penelitian [9], disebutkan bahwa peningkatan efisiensi penyisihan TSS disebabkan oleh adanya interaksi langsung antara radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) dan senyawa organik dalam air limbah.



Gambar 5. Persentase Removal Pengaruh AOP terhadap TSS

3.4 Pengaruh AOP pada Pengolahan Air Lindi

Penerapan metode AOP terbukti cukup efektif dalam menurunkan kandungan pencemar pada air lindi, meskipun hasil penurunan antar parameter bervariasi. Pada parameter COD, hasil menunjukkan adanya penurunan yang cukup signifikan meskipun belum memenuhi standar baku mutu. Kombinasi perlakuan dengan dosis H_2O_2 20 - 40 mL dengan waktu ozonisasi 60 - 80 menit menunjukkan penurunan COD hingga mencapai kisaran 627 - 671 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa AOPs cukup efektif dalam menguraikan senyawa organik kompleks dan non-biodegradable, meskipun diperlukan optimasi lanjutan untuk meningkatkan efisiensi degradasi hingga memenuhi standar yang ditetapkan.

Pada parameter TSS, meskipun air lindi telah memenuhi baku mutu sebelum diolah, penelitian ini menyoroti kemampuan AOP dalam mengurangi partikel tersuspensi. Beberapa kombinasi perlakuan menunjukkan penurunan TSS hingga mencapai 33,5 mg/L. Penurunan ini penting dalam konteks efisiensi keseluruhan sistem pengolahan, karena partikel tersuspensi dapat mengganggu proses lanjutan seperti filtrasi atau desinfeksi. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa metode AOP memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai teknologi pengolahan lanjutan dalam menangani kompleksitas karakteristik air lindi di TPA Piyungan.

Efektivitas AOP yang mengombinasikan ozon dan hidrogen peroksida sangat dipengaruhi oleh interaksi antara dosis reaktan dan durasi waktu reaksi. Ozon sebagai oksidator kuat, mampu bereaksi langsung dengan kontaminan atau menghasilkan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) ketika dikombinasikan dengan H_2O_2 . Radikal hidroksil inilah yang memiliki potensi tinggi untuk mendegradasi senyawa organik kompleks yang sulit terurai secara biologis. Radikal hidroksil dikenal memiliki tingkat selektivitas yang rendah terhadap berbagai spesies yang terdapat di dalam air. Artinya, radikal ini cenderung bereaksi dengan hampir semua senyawa yang dijumpainya tanpa membedakan jenisnya. Namun, proses dekomposisi ozon dalam menghasilkan radikal hidroksil dapat terhambat

apabila terdapat spesies tertentu yang mampu menghentikan reaksi berantai radikal dengan cara bereaksi langsung dengan radikal hidroksil. Spesies tersebut disebut sebagai penghambat radikal (*radical scavenger*), karena keberadaannya dapat membatasi bahkan menonaktifkan peran radikal bebas terhadap senyawa target yang seharusnya diuraikan [11]

IV. Kesimpulan

Secara keseluruhan, penerapan metode AOP pada air lindi cukup efektif namun hasil yang didapatkan terdapat penurunan yang konsisten dan terdapat pula yang masih mengalami fluktuasi. Pada parameter COD efektivitas tertinggi yaitu mencapai 69% dengan nilai COD turun hingga 627 mg/l, sedangkan pada parameter TSS efektivitas tertinggi yaitu mencapai 43% dengan nilai TSS turun hingga 33,5 mg/l. Dengan hasil ini, didapat bahwa pada parameter TSS sudah memenuhi baku mutu, sedangkan parameter COD belum memenuhi baku mutu. Pada penerapan metode AOP kombinasi O₃ dan H₂O₂, didapat dosis optimum pada tiap parameter. Pada parameter COD, dosis optimum yaitu pada variasi H₂O₂ 40 ml dengan waktu ozonisasi 60 menit, dan pada parameter TSS, dosis optimum yaitu pada variasi H₂O₂ 40 ml dengan waktu ozonisasi 80 menit.

UNGKAPAN

Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, penulis panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya. Berkat izin dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan jurnal ini. Selama proses penyusunan jurnal ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, dan semangat. Dengan penuh hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam penyelesaian karya ini.

Daftar Pustaka

- [1] A. Rahmayanti, R. S. Faradila, A. Masrufah, A., Puput, D., Permata, S. P. Lindi, P. Anggraini, and P. Sari, "Pengolahan Lindi Menggunakan Advanced Oxidation Process (AOPs) Berbasis Ozon," *J. Res. Technol.*, vol. 8(1), pp. 141–148, 2022.
- [2] F. (n. d. . Lutfiyya Haz, "Studi Toksisitas Air Sampah (Lindi) Di IPL TPST Piyungan Menggunakan Metode Whole Effluent Toxicity (WET) Dengan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Study Toxicity of Leachate in Wastewater Treatment Plant of TPST Piyungan Using Whole Effluent Toxicity (WET)".
- [3] F. A. Raheem, "Uji Kandungan Logam Berat Cu, Fe, dan Pb Menggunakan Metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) Pada Air Lindi TPA Piyungan, Bantul," 2022.
- [4] I. Astuti, F. A., Syafrudin, S., & Susilowati, "Kajian Status Mutu Air Sungai Akibat Buangan Air Lindi TPA Piyungan di Kabupaten Bantul," *J. Ilmu Lingkungan.*, vol.

21(4), pp. 881–887, 2023.

- [5] & S. Dari, H. W., “Dampak Pengolahan Air Lindi terhadap Kualitas Air Sungai dan Sumur di Sekitar TPA Regional Piyungan Yogyakarta,” *Biosci. J. Ilm. Biol.*, vol. 12(1), 2024.
- [6] A. Sururi, M. R., Ainun, S., & Krisna, “Pengolahan Lindi Dengan Ozon dan Proses Oksidasi Lanjut Berbasis Ozon,” vol. 15(1), pp. 20–26, 2014.
- [7] S. Sari, D. F., Sururi, M. R., & Ainun, “Penyisihan Kekeruhan dan DHL Lindi dengan Menggunakan Advanced Oxidation Process (AOP) pada Reaktor Kontinu,” *Reka Lingkungan*. ©*Teknik Lingkungan. Itenas*, vol. Vol. 5, no. 1, 2017.
- [8] & I. Nugroho, R., “Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil Dengan Proses AOPs.” 2005.
- [9] V. Estikarini, H. D., Hadiwidodo, M., & Luvita, “Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil Dengan Metode Ozonisasi,” *J. Tek. Lingkungan*, 2016.
- [10] M. Indah Dianawati, R., Endah Wahyuningsih, N., & Nur, “Efektivitas Ozon Dalam Menurunkan Kadar TSS dan Nilai pH Limbah Cair Rumah Sakit dr. Adhyatma, MPH Semarang,” *J. Kesehat. Masy.*, 2017.
- [11] M. Trapido, “Ozone-Based Advanced Oxidation Processes,” *Tallinn Univ. Technol.*