Penurunan Konsentrasi COD dan TSS pada Limbah Cair Laboratorium dengan *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) Kombinasi Ozon (O_3) dan Hidrogen Peroksida (H_2O_2)

Lutfi Wulandari[1*], Hudori[1]

[1] Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Yogyakarta 55584.

*Korespondensi: 21513134@students.uii.ac.id

Abstrak. Secara umum, kegiatan di laboratorium menghasilkan air limbah yang mengandung senyawa organik dan anorganik. Apabila air limbah tersebut tidak diolah maka berpotensi mencemari lingkungan. Untuk mengatasi permasalahan ini, maka dilakukan penelitian untuk mengolah air limbah laboratorium menggunakan teknologi Advanced Oxydation Processes (AOPs) dengan metode perokson, yaitu kombinasi antara O_3/H_2O_2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi metode perokson dalam menurunkan konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) dan Total Suspended Solids (TSS) pada air limbah laboratorium. Percobaan dilakukan dalam skala laboratorium dengan 5 variasi waktu paparan O_3 yaitu 15, 30, 45, 60 dan 90 menit serta 3 variasi dosis H_2O_2 yaitu 10, 20 dan 30 mL. Hasil percobaan menunjukkan efisiensi optimal pada waktu paparan O_3 selama 90 menit dan dosis H_2O_2 sebesar 30 mL, dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 67%, dan penurunan konsentrasi TSS sebesar 85%. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa teknologi AOPs metode perokson bekerja efektif dalam menurunkan parameter COD dan TSS pada air limbah laboratorium.

Kata Kunci: AOPs, COD, oksidasi, perokson, TSS

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu institusi pendidikan, laboratorium merupakan sarana penunjang untuk aktivitas praktikum dan penelitian mahasiswa. Kegiatan yang dilakukan di laboratorium akan menghasilkan limbah cair yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik.

Penelitian terdahulu memperoleh data konsentrasi COD pada Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia sebesar 1.953,73 mg/L (Riniptosari, 2006) dan 10.090 mg/L (Sari, 2019). Sedangkan kandungan TSS diperoleh pada nilai sebesar 367 mg/L (Azamia, 2012), 561 mg/L (Syafira, 2021) dan sebesar 220 mg/L – 350 mg/L (Selamat, 2007). Konsentrasi COD dan TSS di air limbah laboratorium tersebut telah melebihi baku mutu sesuai Permen LHK No. 5 Tahun 2014 yaitu COD berkisar 100-300 mg/L dan TSS berkisar 200-400 mg/L.

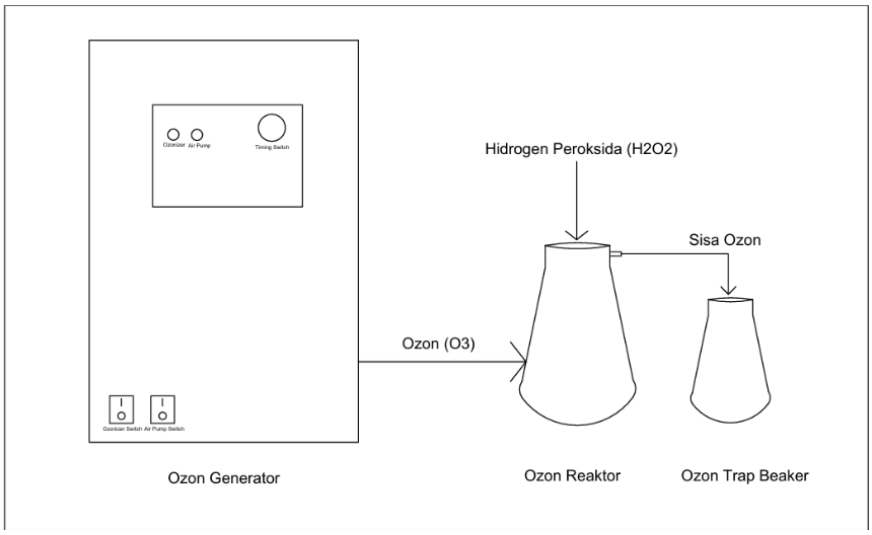
Untuk menurunkan konsentrasi COD dan TSS di air limbah laboratorium, maka diperlukan unit pengolahan. Pengolahan air limbah laboratorium dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti pengolahan fisika (filtrasi dan flotasi) maupun biologis (proses aerobik dan anaerobik) (Abdullah, 2024). Selain itu, pengolahan secara kimiawi seperti koagulasi-flokulasi, adsorpsi dengan karbon aktif, elektrokoagulasi dan oksidasi kimia dapat dipergunakan sebagai alternatif pengolahan. Salah satu proses pengolahan secara kimiawi yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan metode

Advanced Oxidation Processes **(**AOPs). Terdapat beberapa jenis AOPs misalnya kombinasi dengan sinar UV seperti O_3/UV, H_2O_2/UV, O_3/H_2O_2/UV, Fe^{2+}/H_2O_2/UV atau kombinasi ozon dengan hidrogen peroksida (O_3/H_2O_2), hidrogen peroksida dengan katalis Fe^{2+} (Fenton) (Sari, 2019). Kombinasi antara ozon dengan hidrogen peroksida (O_3/H_2O_2) disebut metode Perokson. Metode AOPs Perokson melibatkan reaksi antara hidrogen peroksida (H_2O_2) dan Ozon (O_3) yang akan membentuk radikal hidroksil (OH•) dan dapat mendegradasi kontaminan atau senyawa organik dalam air limbah secara efektif (Hamdaoui, 2024). AOPs metode Perokson dapat digunakan untuk menurunkan COD di limbah industri (Sekaringgalih et al., 2023), dalam pengolahan limbah gelatin, pengolahan limbah cair industri *pulp and paper* (Ristiawan & Syafila, 2015). Selain itu, AOPs metode Perokson dapat digunakan untuk menurunkan kandungan TSS pada limbah industry MSG (Imtiyas et al., 2016).

Pengolahan air limbah dengan AOPs metode Perokson atau berbasiskan O_3 dan H_2O_2 memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa organik yang terdapat dalam air limbah. Selain itu, AOPs kombinasi O_3 dan H_2O_2 memiliki keunggulan lebih efisien, relatif murah dan aman dibandingkan metode lain seperti fenton. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah cair laboratorium untuk menurunkan konsentrasi COD dan TSS dengan menggunakan metode Perokson.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia (UII). Sampel yang digunakan adalah air limbah yang dihasilkan dari kegiatan praktikum dan penelitian di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII. Alat yang digunakan untuk menghasilkan ozon yaitu ozon generator dengan merk IONTECH yang memiliki kapasitas produksi ozon sebesar 10 g/jam. Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu tahap persiapan, pengumpulan data, dan analisis data. Persiapan alat dan bahan dilakukan pada tahap persiapan. Pengujian COD pada air limbah menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm, sedangkan pengujian TSS menggunakan metode gravimetri dengan media penyaring Whatman Grade 42 dengan ukuran pori-pori 4,2 µm. Selanjutnya, pada tahap pengumpulan data, dilakukan analisis limbah cair terlebih dahulu untuk mengetahui konsentrasi awal COD dan TSS sebelum dilakukan pengolahan. Setelah mengetahui konsentrasi awal air limbah, sampel yang akan diolah dengan metode perokson dilakukan pengenceran dua kali, hal ini guna meningkatkan efisiensi metode perokson dalam menurunkan COD dan TSS dalam air limbah. Untuk menaikkan angka pH dilakukan penambahan NaOH hingga mencapai pH 8. Hal ini diperlukan supaya tercapai kondisi pH optimum sesuai kebutuhan metode perokson (Kurniawan et al., 2006). Setelah diperoleh pH yang diinginkan, sampel ditambahkan H_2O_2 dengan variasi dosis, yaitu 10 mL, 20 mL, dan 30 mL dan kemudian dilakukan proses ozonasi dengan variasi waktu ozonasi, yaitu 15, 30, 45, 60 dan 90 menit. Skema rangkaian alat AOPs pada penelitian ini seperti pada Gambar 1. Pengujian konsentrasi COD dan TSS dilakukan untuk sampel sebelum dan sesudah pengolahan untuk tiap variasi penelitian. Tahapan terakhir yaitu analisis data, dalam tahap ini dilakukan perhitungan efisiensi penurunan COD dan TSS pada setiap variasi waktu ozonasi dan dosis hidrogen peroksida.



Gambar 1. Rangkaian alat AOPs metode perokson

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakteristik Awal Air Limbah Laboratorium

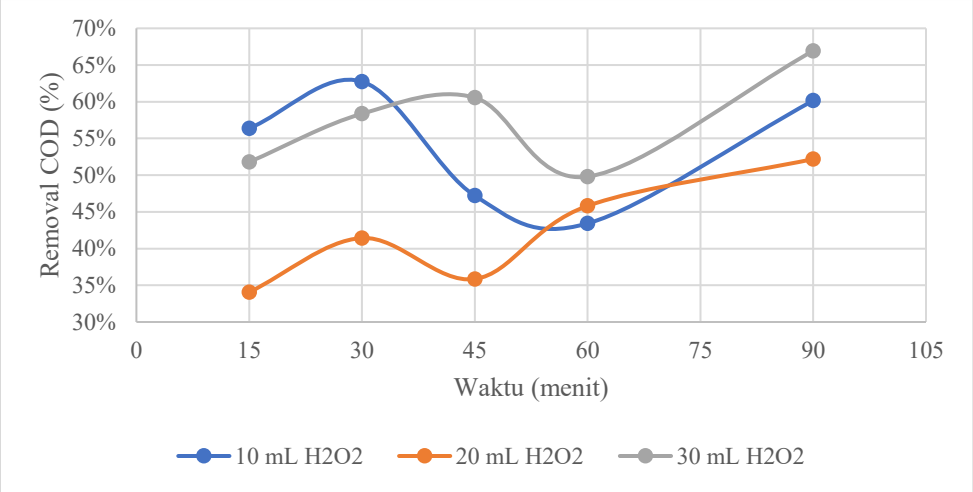
Berdasarkan uji karakteristik awal, air limbah laboratorium mempunyai konsentrasi COD dan TSS yang tergolong cukup tinggi, serta memiliki pH asam. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 untuk baku mutu air limbah bagi kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan, konsentrasi air limbah tersebut sudah melebihi batas maksimum baku mutu.

Tabel 1. Karakteristik air limbah Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII

No.	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku mutu
1	COD	mg/L	8367	100 - 300
2	TSS	mg/L	735	200 - 400
3	pH	-	2	6-9

3.2 Pengaruh AOPs Metode Perokson Terhadap Penurunan COD

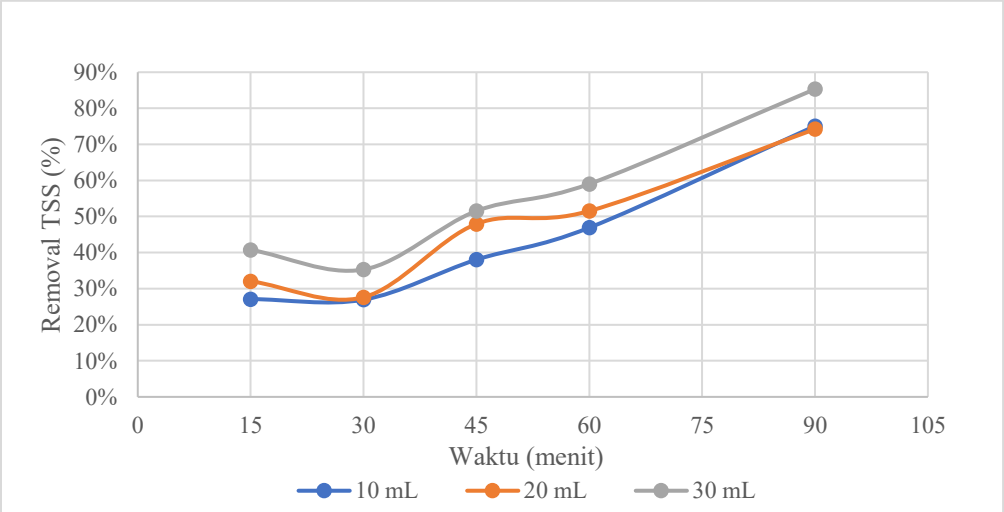
Hasil penelitian menunjukkan bahwa AOPs metode Perokson mampu menurunkan kandungan COD. Efisiensi penyisihan COD terbesar yaitu mencapai 67% terjadi pada waktu ozonasi selama 90 menit dengan dosis hidrogen peroksida sebesar 30 mL. Secara umum peningkatan dosis hidrogen peroksida dan lama waktu ozonosasi akan meningkatkan efisiensi pengolahan AOPs dalam menurunkan konsentrasi COD. Besarnya penyisihan ini disebabkan karena reaksi radikal hidroksil dengan senyawa organik dalam limbah cair laboratorium, dimana senyawa organik dioksidasi oleh radikal hidroksil (Rahmayanti et al., 2022). Efisiensi penurunan COD pada setiap waktu ozonasi dan dosis hidrogen peroksida terjadi secara fluktuatif, hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rezagama, 2013), yang menyatakan bahwa penurunan COD ada 2 tahap, yaitu penurunan cepat dan tahap titik balik. Metode perokson ini mampu menurunkan COD karena terbentuknya radikal hidroksil dari reaksi antara ozon dan hidrogen peroksida, dimana radikal ini bersifat sangat reaktif dan mampu menguraikan berbagai senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa yang sederhana.



Gambar 2. Persentase penurunan konsentrasi COD menggunakan AOPs metode perokson

3.2 Pengaruh AOPs Metode Perokson Terhadap Penurunan TSS

Proses AOPs metode perokson memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap penurunan konsentrasi TSS. Efisiensi removal TSS meningkat seiring meningkatnya waktu ozonasi dan dosis hidrogen peroksida. Efisiensi tertinggi dicapai pada menit ke-90 dan dosis hidrogen peroksida sebesar 30 mL, yaitu mencapai 85%. Penurunan ini disebabkan oksidasi oleh radikal hidroksil yang terbentuk dari reaksi antara ozon dan hidrogen peroksida menyebabkan partikel padat tersuspensi terurai menjadi senyawa lebih kecil atau senyawa terlarut, sehingga partikel tersuspensi berkurang jumlahnya (Dianawati et al., 2017).



Gambar 3. Persentase penurunan konsentrasi TSS menggunakan AOPs metode perokson

3.3 Pengaruh AOPs Metode Perokson Terhadap Perubahan Kualitas Air Limbah

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh penurunan yang fluktuatif pada parameter COD dan penurunan yang signifikan pada konsentrasi TSS. Kondisi optimum pengolahan didapat pada percobaan dengan nilai pH 8, waktu ozonasi selama 90 menit dan dosis

H_2O_2 sebesar 30 mL yang menghasilkan penurunan COD sebesar 67%, dan penurunan TSS sebesar 85%. Hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan waktu ozonasi dan penambahan dosis H_2O_2 berpengaruh terhadap efisiensi proses. Namun, penambahan waktu ozonasi dan dosis H_2O_2 yang berlebihan atau tidak tepat dapat mengurangi kinerja AOPs, hal ini karena adanya kemungkinan terjadi radikal scavanger (Imtiyas et al.,2016). Radikal hidroksil yang terbentuk dari reaksi antara O_3 dan H_2O_2 dapat menurunkan COD karena terjadinya oksidasi senyawa organik kompleks menjadi lebih sederhana, dan dapat menguraikan partikel organik besar menjadi senyawa larut atau patikel halus yang tidak terdeteksi dalam pengukuran padatan tersuspensi (Bokare & Choi, 2014). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Imtiyas et al., 2016) dan (Sekaringgalih et al., 2023) yang menunjukkan bahwa kombinasi O_3 dengan H_2O_2 mampu menurunkan kandungan organik dalam air limbah. Perbedaan persentase penurunan parameter pencemar pada penelitian lain disebabkan perbedaan karakteristik air limbah serta perbedaan variasi waktu ozonasi dan dosis H_2O_2 yang digunakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, proses AOPs metode perokson mampu menurunkan konsentrasi COD dan TSS pada limbah cair laboratorium. Metode perokson mampu menurunkan COD sebesar 67% dan TSS sebesar 85% pada waktu ozonasi (O_3) selama 90 menit dan dosis H_2O_2 sebesar 30 mL. Pada penelitian ini, kandungan TSS pada air limbah laboratorium setelah pengolahan telah memenuhi baku mutu yaitu dibawah 200 mg/L. Sedangkan konsentrasi COD masih belum memenuhi baku mutu, namun secara umum terjadi penurunan konsentrasi COD. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa metode perokson memiliki kemampuan untuk menurunkan konsentrasi COD dan TSS dalam air limbah laboratorium.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Sulaiman dan Ibu Kamsiyah, yang dengan penuh kasih sayangnya telah memberikan dukungan, doa, dorongan serta nasihat yang sangat berarti bagi penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih atas saran dan arahan Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I.P.M. dan Ibu Puji Lestari, S. Si., M.Sc., Ph.D. selaku penguji penelitian ini.

REFERENSI

Abdullah, S. (2024). *Efisiensi removal unit pengolah air limbah* (N. Duniawati, Ed.). CV. Adanu Abimata.

Azamia, M. (2012). *Pengolahan limbah cair laboratorium kimia dalam penurunan kadar organik serta logam berat Fe, Mn, Cr dengan metode koagulasi dan adsorpsi* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia].

Bokare, A. D., & Choi, W. (2014). Review of iron-free Fenton-like systems for activating H_2O_2 in advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials, 275*, 121–135. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.04.054

Dianawati, R. I., Wahyuningsih, N. E., Nur, M., Kesehatan Lingkungan, B., & Kesehatan Masyarakat, F. (2017). Efektivitas ozon dalam menurunkan kadar TSS dan nilai pH limbah cair Rumah Sakit Dr. Adhyatma, MPH Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal), 5*(2). http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm

Hamdaoui, U. (2024). *Innovative and hybrid advanced oxidation processes for water treatment* (L. Lawrance, Ed.). Joseph Hayton.

Hassan, A. K., Abdul, H. M. M., & Hasan, A. F. (2020). Treatment of Iraqi petroleum refinery wastewater by advanced oxidation processes. *Journal of Physics: Conference Series, 1660*(1), 012071. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1660/1/012071

Imtiyas, I., Rezagama, A., & Luvita, V. (2016). Pengolahan BOD, COD, TSS, dan pH pada limbah industri MSG (Monosodium Glutamate) menggunakan teknologi advanced oxidation processes (O_3/H_2O_2 dan Fenton). *Jurnal Teknik Lingkungan, 22*(1), 33–41.

Kurniawan, T. A., Lo, W. H., & Chan, G. Y. S. (2006). Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate. *Chemical Engineering Journal, 125*(1), 35–57. https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.07.006

Rahmayanti, A., Faradila, R. S., Masrufah, A., Puput, D., Permata, A., Lindi, S. P., Anggraini, P., & Sari, P. (2022). Pengolahan lindi menggunakan advanced oxidation process (AOPs) berbasis ozon. *Journal of Research and Technology, 8*(1), 141–148.

Rezagama, A. (2013). Studi ozonisasi senyawa organik air lindi tempat pemrosesan akhir Sarimukti. *Jurnal Teknik, 34*(2), 82–89. https://doi.org/10.14710/teknik.v34i2.5630

Riniptosari, L. (2006). *Penurunan kadar kromium dan COD pada limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia menggunakan reaktor elektrolisis dengan elektroda aluminium* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia].

Ristiawan, A., & Syafila, D. M. (2015). Kinetika degradasi lignin dari limbah cair industri pulp and paper menggunakan advanced oxidation process (AOP) dengan kombinasi ozon dan hidrogen peroksida. *Jurnal Teknik Lingkungan, 21*(1), 35–42.

Sari, Y. S. (2019). Mengolah COD pada limbah laboratorium. *Jurnal Komunitas: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, 1*(2), 45–51.

Sekaringgalih, R., Nur, A., & Rachmah, L. (2023). Treatment of gelatin wastewater with ozone-peroxide advanced oxidation process. *Jurnal Teknik Sipil, 18*(2), 155–162.

Selamat, M. (2007). *Penurunan konsentrasi chemical oxygen demand (COD), total suspended solid (TSS) dan timbal (Pb) pada limbah laboratorium kimia teradu Universitas Islam Indonesia menggunakan karbon arang aktif* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia].

Syafira, I. (2021). *Efektivitas alat pengolah limbah berdasarkan kandungan total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), logam Cu, Fe dan Pb di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia].