

# TREATMENT OF THE GELATIN WASTEWATER WITH OZONE PEROXIDE ADVANCED OXIDATION PROCESS

Ratri Sekaringgalih<sup>1</sup>, Alif Nur Laili Rachmah<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Institut Teknologi dan Bisnis Muhammadiyah Banyuwangi, Jalan Diponegoro 60, 68465 Banyuwangi, Indonesia  
Email: ratrisekaringgalih@itbmb.ac.id

## ABSTRACT

*This research aims to decrease the level of COD, BOD<sub>5</sub>, and color in the liquid waste of the gelatin industry by using the ozonation process and hydrogen peroxide in order to meet the quality standards of the seaweed industrial waste. The reaction between ozone and peroxide called the peroxone process is one of the Advanced Oxidation Processes (AOPs). The combination of ozone with peroxide can result in a cheaper process. The result shows the lowest COD at the time of ozonation 160 minutes with the addition of hydrogen peroxide 30 ml was 932.39 mg/L (37.03%), the lowest BOD<sub>5</sub> at ozonation 160 minutes with the addition of 25 ml hydrogen peroxide was 164.32 mg/L (48%) and the lowest color at 80 minutes of ozonation with the addition of 10 ml of hydrogen peroxide is 158 (73.75%). In the AOPs, the decrease in COD and BOD<sub>5</sub> was higher than that of ozonation without hydrogen peroxide. From the comparison of COD, BOD, and color results, it was found that the AOP method was better than using only ozone. Thus the data on the quality of agar-agar waste meets the applicable quality standards. This shows that the AOP process can treat gelatin waste and reduce water pollution.*

**Keywords:** AOPs, BOD<sub>5</sub>, COD, ozonation.

## ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar COD, BOD<sub>5</sub>, dan warna pada limbah cair industri gelatin dengan menggunakan proses ozonasi dan hidrogen peroksida, agar memenuhi baku mutu limbah industri rumput laut. Reaksi antara ozon dan peroksida yang disebut proses perokson adalah salah satu Proses Oksidasi Lanjutan (AOPs). Kombinasi ozon dengan peroksida dapat menghasilkan proses yang lebih murah. Hasil penelitian menunjukkan COD terendah pada waktu ozonasi 160 menit dengan penambahan hidrogen peroksida 30 ml sebesar 932,39 mg/L (37,03%), BOD<sub>5</sub> terendah pada ozonasi 160 menit dengan penambahan hidrogen peroksida 25 ml sebesar 164,32 mg/L (48%) dan warna terendah pada ozonasi 80 menit dengan penambahan 10 ml hidrogen peroksida adalah 158 (73,75%). Pada AOPs, penurunan COD dan BOD<sub>5</sub> lebih tinggi dibandingkan ozonisasi tanpa hidrogen peroksida. Dari perbandingan hasil COD, BOD, dan warna didapatkan bahwa metode AOP lebih baik daripada hanya menggunakan ozon saja. Dengan demikian data mutu limbah agar-agar telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa proses AOP dapat mengolah limbah agar-agar dan mengurangi pencemaran pada air.*

**Kata kunci:** AOPs, BOD<sub>5</sub>, COD, ozonasi.

## PENDAHULUAN

Rumput laut merupakan salah satu komoditas strategis Indonesia di bidang kelautan. Volume produksi rumput laut Indonesia dari tahun ke tahun menunjukkan peningkatan yang signifikan terutama pada volume produksi budidaya. Data Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) mencatat produksi rumput laut Indonesia pada 2015 mencapai 10.335.000 ton basah atau jika dikonversi menjadi 1.033.500 ton kering. Hal ini mendorong berkembangnya industri yang menggunakan bahan baku rumput laut dan bertujuan untuk memanfaatkan potensi alam (Rachmah dkk., 2023). Dengan banyaknya industri rumput laut yang berkembang di Indonesia tentunya menimbulkan berbagai macam masalah. Salah satu masalah yang dihadapi dalam industri rumput laut terkait dengan masalah limbah. Limbah cair merupakan masalah utama dalam pengendalian dampak lingkungan. Industri rumput laut merupakan industri yang mengolah bahan baku rumput laut menjadi suatu produk, dan juga menghasilkan limbah yang diakibatkan oleh pencucian rumput laut karena pencucian menggunakan air dan bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan (Dewa, 2016).

Saat ini, pencemaran lingkungan menjadi masalah besar di masyarakat. Adanya peraturan pemerintah tentang lingkungan mendorong setiap pelaku produksi atau pabrik untuk mengolah limbahnya agar aman untuk diolah kembali atau dibuang ke lingkungan. Meskipun kesadaran akan pentingnya air bersih semakin meningkat dan meskipun masalah pengolahan air yang berkelanjutan sering dibahas dalam agenda ilmiah, sosial dan politik di seluruh dunia, masalah ini masih belum terselesaikan. Meningkatnya polusi, pertumbuhan industri dan ekonomi berdampak buruk terhadap ketersediaan kualitas sumber air (Abdel-Rahman dkk., 2019) dan dapat yang menyebabkan ancaman terhadap kesehatan

mahluk hidup terutama manusia (Sekaringgalih dkk., 2023).

Berdasarkan uji laboratorium, air limbah gelatin dari PT Surya Indoalga di Wonoayu, Sidoarjo memiliki  $BOD_5$  sebesar 316 mg/l dan COD sebesar 1480,87 mg/l dan warna sebesar 59 unit PtCo. Sedangkan berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah industri pengolahan rumput laut, kandungan BOD maksimal 100 mg/l, COD 250 mg/l dan ph sekitar 6-9. Paparan data menunjukkan bahwa limbah tersebut tidak memenuhi baku mutu limbah industri rumput laut sehingga perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Secara umum, untuk mereduksi bahan pencemar organik yang mudah terdegradasi, teknologi yang diterapkan adalah teknologi pengolahan air limbah secara biologis, seperti proses lumpur aktif, biofilter anaerobik-aerobik. Sementara itu, air limbah yang mengandung polutan organik zat warna rantai panjang yang biasa digunakan dalam industri tekstil, seperti senyawa azo, antrakuinon dan juga ftalosianin, tidak dapat dengan mudah diolah dengan proses biologis biasa. Untuk mengatasi kendala di atas, perlu dipikirkan perlakuan khusus. Salah satu cara yang mudah diterapkan adalah proses oksidasi menggunakan oksidator kuat seperti ozon dan hidrogen peroksida yang lebih dikenal dengan proses *Advance Oxidation Processes (AOPs)*. Proses ini dulu dikenal cukup mahal, namun perkembangan teknologi membuat proses ini tidak hanya murah tetapi juga mudah diaplikasikan (Nugroho dkk., 2018).

Pada penelitian ini ozon dan hidrogen peroksida digunakan untuk menurunkan kadar COD dan  $BOD_5$  pada air limbah rumput laut. Selain ozon penggunaan  $CO_2$  juga relevan namun masih lebih baik ozon (Sekaringgalih dkk., 2022). Ozon terbukti dapat meningkatkan kualitas air, karena ozon dapat mengoksidasi berbagai senyawa perusak seperti senyawa berbasis karbon dan

nitrit, bahan organik alami (*NOM*), kebutuhan oksigen kimia (*COD*), warna, dan padatan tersuspensi (Spiliotopoulou dkk., 2018). Ozon dipilih karena ozon sebelum atau sesudah bereaksi dengan unsur lain akan selalu menghasilkan oksigen ( $O_2$ ) sehingga teknologi ozon sangat ramah lingkungan atau ozon sering dikatakan sebagai bahan kimia hijau masa depan [6]. Ozon dengan kemampuan oksidasinya dapat digunakan sebagai oksidator kuat untuk mendegradasi fenol. Selain itu, ozon sebagai oksidator paling kuat setelah radikal hidroksida ( $OH^*$ ), dapat digunakan untuk mengoksidasi logam berat (larut dalam air), mendegradasi senyawa organik (termasuk organ klorida dan senyawa aromatik), menghilangkan warna dan bau. atau rasa (Syafarudin dkk., 2013).

Reaksi antara ozon dan peroksida atau yang disebut dengan proses peroksone merupakan salah satu dari *Advanced Oxidation Processes (AOPs)* yang menghasilkan radikal hidroksida yang sangat reaktif terhadap polutan (Merényi dkk., 2010). Radikal hidroksida merupakan oksidan yang lebih kuat daripada molekul ozon itu sendiri. Ozon *AOP* adalah proses yang diambil untuk meningkatkan efektivitas ozonisasi, untuk meningkatkan laju oksidasi kontaminan (menghasilkan penurunan *COD* dan *BOD* yang lebih tinggi), untuk mengurangi penggunaan ozon, meningkatkan biodegradabilitas, dan sebagainya. Perbedaan utama antara ozonisasi dan proses *AOP* adalah ozon langsung teroksidasi dalam larutan sedangkan oksidasi *AOP* dilakukan oleh radikal hidroksida. Kepa dkk., (2008), melakukan percobaan dengan sistem  $O_3/H_2O_2$  dan  $H_2O_2/O_3$ . Pada sistem pertama hidrogen peroksida ditambahkan pada akhir proses ozonisasi. Dalam sistem kedua hidrogen peroksida ditambahkan sebelum proses ozonisasi dimulai. Berdasarkan penambahan  $H_2O_2$  berdampak baik pada hasil akhir proses oksidasi, hasil terbaik diperoleh dengan penambahan

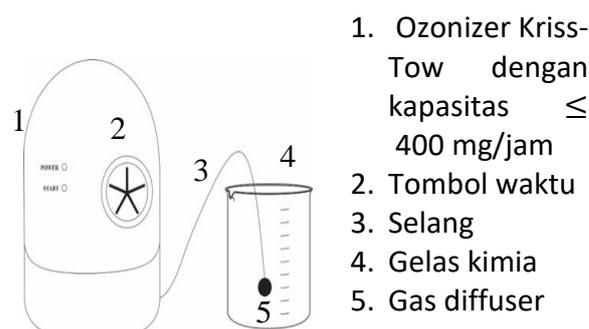
hidrogen peroksida setelah 4-8 menit dimulainya ozonasi (Kepa dkk., 2008).

Pada percobaan ini juga dilakukan perbandingan proses pengolahan limbah hanya menggunakan ozon dan ozon + hidrogen peroksida yang bertujuan untuk mencari metode yang optimal. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah industri gelatin.

## METODE

### Proses Ozonasi

Limbah cair dari industri agar-agar sebelum diolah dianalisis terlebih dahulu kadar *COD*, *BOD*, dan warna. Analisis awal ini bertujuan untuk mengetahui berapa kadar sebelum dan sebelum diolah. Proses ozonasi dilakukan menggunakan volume sampah 2 liter dan suhu ruang, dengan variasi penambahan volume hidrogen peroksida (10, 15, 20, 25, dan 30 ml) dan waktu ozonisasi yang berbeda (80, 100, 120, 140, dan 160 menit). Untuk menguji pengaruh  $H_2O_2$  terhadap ozonasi, maka ditambahkan  $H_2O_2$  ke dalam larutan, dengan pH awal yaitu 11. Penambahan hidrogen peroksida dilakukan pada 8 menit setelah proses ozonisasi dimulai (Kepa dkk., 2008).



Gambar 1. Peralatan Proses Ozonasi

### Karakterisasi

Hasil awal uji mutu air limbah agar-agar dibandingkan dengan baku mutu industri pengolahan rumput laut berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Hasil perbandingan akan

menunjukkan parameter yang memenuhi atau tidak memenuhi baku mutu. Karakterisasi untuk baku mutu seperti BOD, COD, dan warna. Analisis BOD ditentukan dengan metode winkler. Analisis warna ditentukan secara spektrofotometri pada panjang gelombang 450 nm–465 nm menggunakan larutan standar Pt-Co.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Identifikasi masalah dan menentukan solusi alternatif**

Industri umumnya membuang limbah cair langsung ke sumber air seperti laut, sungai, waduk, atau danau. Air limbah industri merupakan penyebab utama pencemaran air. Setiap industri yang menghasilkan limbah cair wajib mengolah air limbah agar memenuhi baku mutu yang ditetapkan pemerintah sehingga dapat dibuang tanpa mencemari lingkungan. Menurut peraturan pemerintah nomor 82 tahun 2001, limbah cair adalah sisa dari suatu usaha atau kegiatan yang berbentuk cairan. Limbah cair merupakan produk limbah cair yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang (Permadi, 2011). Namun limbah cair tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan, melainkan harus diolah terlebih dahulu dengan melihat indikator COD, BOD<sub>5</sub> dan pH.

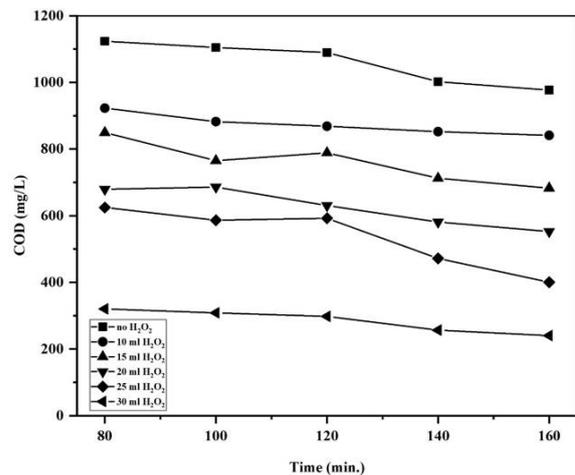
Tabel 1. Perbandingan analisis limbah awal dengan baku mutu

Parameter	Awal test (mg/L)	Kondisi maksimal (mg/L)
COD	1480,87	250
BOD <sub>5</sub>	316	100
pH	11	6-9

Berdasarkan hasil laboratorium diketahui bahwa konsentrasi COD, BOD, dan pH pada limbah cair gelatin tidak memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa

Timur Tahun 2013 (Pergub Jatim No. 52, 2014). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan limbah lebih lanjut. Pada penelitian ini kami menggunakan metode oksidasi AOP untuk mengolah limbah gelatin. Oksidasi adalah proses yang sering digunakan untuk proses dekolorisasi kimia karena kesederhanaannya. Proses oksidasi sederhana dan oksidasi lanjut dengan hidrogen peroksida untuk dekomposisi kontaminan organik non-biodegradable dalam limbah tekstil lebih efektif daripada metode pengolahan sederhana (Zaharia dkk., 2009). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh waktu ozonisasi dan penambahan volume hidrogen peroksida terhadap perubahan BOD<sub>5</sub>, COD, dan warna. Detail hasil dan pembahasan disajikan di bawah ini.

**2. Pengaruh waktu ozonasi terhadap nilai COD.**

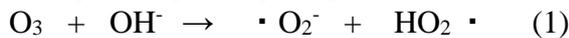


Gambar 2. Efek Perubahan COD terhadap waktu

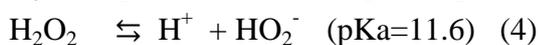
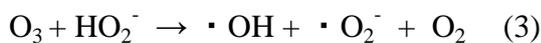
COD menunjukkan jumlah kebutuhan oksigen untuk mendegradasi senyawa organik melalui reaksi oksidasi. Kebutuhan oksigen berbanding lurus dengan jumlah senyawa organik dan akan didegradasi, semakin banyak senyawa organik yang akan didegradasi semakin banyak oksigen yang dibutuhkan (Rahmayanti, 2022). Berdasarkan gambar 2, perlakuan dengan O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki pembacaan COD yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan dengan

O<sub>3</sub> saja. Hal ini dikarenakan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tersebut dapat mengganggu analisis COD dengan mengkonsumsi reagen oksidasi. Hal ini menyebabkan overestimasi pengukuran COD (Trapido, 2012). Secara umum, penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> selama ozonisasi dapat meningkatkan laju degradasi COD dibandingkan dengan perlakuan tanpa campur tangan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Gambar 2 menunjukkan COD terendah diperoleh pada ozonasi selama 160 menit dengan penambahan 30 ml hidrogen peroksida yaitu 240,39 mg/L (83,76%) dan COD tertinggi pada ozonasi selama 80 menit tanpa penambahan hidrogen peroksida. yaitu 1123,72 mg/L (24,11%). Pada ozonasi persentase penurunan COD meningkat seiring dengan bertambahnya waktu ozonisasi, hal ini terjadi karena semakin lama waktu ozonasi maka semakin banyak ozon terlarut yang dapat menguraikan senyawa organik dalam limbah.

Ozon terurai pada pH basa menurut Persamaan. (1) dan (2), sehingga membentuk radikal hidroksil, yang merupakan spesies paling reaktif.



Ion hidroperoksida juga bereaksi dengan ozon dan membentuk radikal hidroksil menurut Persamaan. (3) dan (4). Radikal hidroksil yang terbentuk meningkatkan dekomposisi ozon karena memulai reaksi berantai radikal.



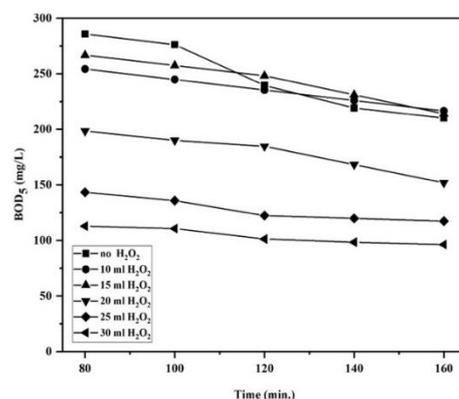
Oleh karena itu, pada pH basa, dengan meningkatnya dosis hidrogen peroksida, ozon cepat bereaksi dengan HO<sub>2</sub><sup>-</sup> dan OH<sup>-</sup> (Yamashita dkk., 2007). Percobaan ini berlangsung dalam suasana basa dengan pH 10.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, semakin banyak hidrogen peroksida yang ditambahkan, semakin banyak radikal hidroksil yang terbentuk, sehingga

penguraian senyawa organik semakin meningkat. Namun pada grafik terlihat bahwa penambahan hidrogen peroksida tidak selalu menunjukkan peningkatan persen penurunan. Hal ini dapat terjadi karena adanya inhibitor yang disebut hidroksil radikal scavenger, adanya inhibitor dapat membatasi atau menghambat kerja radikal bebas terhadap senyawa target (Trapido, 2012). Selain itu, sifat ozon yang sangat selektif sehingga hanya kontaminan organik dan beberapa kontaminan anorganik yang disukai ozon yang teroksidasi terlebih dahulu menjadi senyawa yang lebih sederhana (Abd dkk., 2017). Hal ini juga dapat terjadi karena keadaan larutan yang basa (pH berkisar antara 9-10), ozon lebih cepat bereaksi dengan HO<sub>2</sub><sup>-</sup> dan H daripada senyawa organik. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur tentang baku mutu air limbah untuk industri pengolahan gelatin, batas maksimum COD adalah 250 mg/L, sedangkan hasil terbaik adalah COD sebesar 240,39 mg/L, dimana limbah tersebut telah memenuhi baku mutu.

### 3. Pengaruh waktu ozonasi terhadap nilai BOD<sub>5</sub>

Berdasarkan gambar 3, BOD<sub>5</sub> terendah diperoleh pada ozonisasi selama 160 menit dengan penambahan 30 ml hidrogen peroksida yaitu 96,32 mg/L (69,5189%), dan BOD<sub>5</sub> tertinggi diperoleh pada ozonasi selama 80 menit tanpa penambahan hidrogen peroksida sebesar 285,47 mg/L (9,6613%).



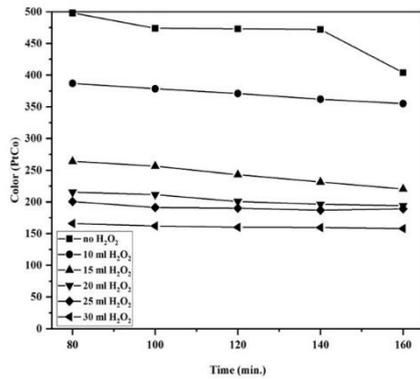
Gambar 3. Efek Perubahan  $BOD_5$  terhadap waktu

Persentase  $BOD$  meningkat dengan meningkatnya waktu kontak ozonisasi. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu kontak ozon, semakin banyak  $O_3$  yang terbentuk dan semakin banyak senyawa organik yang teroksidasi oleh ozon. Peningkatan  $BOD_5$  disebabkan oleh oksidasi oleh radikal  $O_3$  dan  $OH$  pada senyawa dengan rantai molekul yang panjang (sulit terurai) yang akan diubah menjadi senyawa dengan rantai molekul yang lebih pendek (mudah terurai). Pengukuran pH larutan diperoleh pada angka 10 dimana proses oksidasi pada pH 10 terjadi dengan menggunakan radikal  $OH$ , sehingga semua senyawa organik yang ada dalam limbah teroksidasi menjadi senyawa sederhana (Andrio dkk., 2019). Berdasarkan penelitian sebelumnya, semakin banyak hidrogen peroksida yang ditambahkan, semakin banyak radikal hidroksil yang terbentuk, sehingga penguraian senyawa organik semakin meningkat. Oleh karena itu, dapat dibuktikan dari percobaan ini dengan diperolehnya nilai  $BOD_5$  terendah dengan penambahan 30 ml hidrogen peroksida. Peranan hidrogen peroksida dalam menurunkan nilai  $BOD_5$  juga sangat penting, hal ini terlihat dari nilai  $BOD_5$  tertinggi yang diperoleh saat ozonasi dilakukan tanpa penambahan hidrogen peroksida. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur tentang baku mutu air limbah untuk industri pengolahan gelatin, batas maksimal  $BOD_5$  adalah 100 mg/L, sedangkan  $BOD_5$  hasil terbaik adalah 96,32 mg/L, dimana limbah tersebut telah memenuhi baku mutu.

#### 4. Pengaruh waktu ozonasi terhadap nilai warna

AOP telah menjadi proses yang sangat penting untuk pengolahan air limbah pewarna. Manfaat lain dari proses ini adalah menghasilkan produk akhir yang hampir tidak berbahaya secara signifikan dibandingkan dengan metode perawatan tradisional dan klasik lainnya (Abbas dkk., 2023).  $O_3/H_2O_2$  pewarna sintesis sangat tergantung pada pH. Laju dekomposisi  $O_3$  meningkat dengan pH, karena lebih banyak  $H_2O_2$  dipisahkan menjadi  $HO_2^-$ . Karena alasan ini pH 11 dianggap sebagai pH yang paling cocok untuk pengobatan  $O_3/H_2O_2$  (Sabri dkk., 2018) di mana dalam sistem ini memiliki pH 10 yang dapat dikatakan mendekati kondisi yang sesuai.

Untuk perbandingan antara dua hasil percobaan  $O_3$  dan  $O_3/H_2O_2$ , Gambar 4 menunjukkan bahwa dekolerasi air limbah gelatin lebih cepat lebih dari 80% dengan adanya  $H_2O_2$ . Ini karena, ketika  $H_2O_2$  ditambahkan ke dalam sistem ozonasi, dekomposisi  $O_3$  menjadi radikal hidroksil dipercepat proses dan menggeser proses sepenuhnya ke AOP (Sabri dkk., 2018). Dari hasil percobaan yang diperoleh warna terendah yang diperoleh pada ozonasi selama 160 menit dengan penambahan 30 mL hidrogen peroksida, yaitu 158 PtCO (75%), dan warna tertinggi yang diperoleh pada ozonasi selama 80 menit tanpa hidrogen peroksida, yaitu 498 PtCO (17,27%).



Gambar 4. Efek Perubahan Warna Terhadap Waktu

## SIMPULAN

Hasil awal pengujian kualitas limbah agar-agar terhadap *COD*, *BOD*<sub>5</sub>, warna, dan pH menunjukkan bahwa semua parameter tidak memenuhi baku mutu kualitas air limbah rumput laut menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2012. Oleh karena itu *AOP* digunakan untuk mengolah air limbah ini.

Proses *AOP* menunjukkan hasil terbaik adalah penambahan 30 ml hidrogen peroksida dalam waktu 160 menit yang dapat menurunkan *COD* 83,76% dari sebelumnya menjadi 240,39 mg/L. *BOD* menurun sebesar 69,5189% dari sebelumnya menjadi 96,32 mg/L dengan kondisi yang sama. Dari perbandingan hasil *COD*, *BOD*, dan warna didapatkan bahwa metode *AOP* lebih baik daripada hanya menggunakan ozon saja. Dengan demikian data mutu limbah agar-agar telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa proses *AOP* dapat mengolah limbah agar-agar dan mengurangi pencemaran pada air (Alagorni dkk., 2015).

## DAFTAR PUSTAKA

Abbas, Q., Bukhari, T. H., Usman, M., Munir, M., Iqbal, M., Nazir, A., ... Ahmad, N. (2023). Efficient Removal and Conditions Optimization of Textile Dyes Using UV/TiO<sub>2</sub> Based Advanced Oxidation Process. *Polish Journal of*

*Environmental Studies*, 32(3), 2465–2471.

Abdel-Rahman, Z., & Abdullah, Z. (2019). Utilization of CO<sub>2</sub> in Flue Gas for Sodium Bicarbonate Production in a Bubble Column. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 26(2), 28–38.

Abdi, C., Khair, R. M., & Aisyah, S. (2017). PENGARUH OZONISASI TERHADAP PENURUNAN INTENSITAS WARNA DAN KADAR BESI (Fe) PADA AIR GAMBUT. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(1), 21–29.

Alagorni, A. H., Yaacob, Z. Bin, & Nour, A. H. (2015). *An Overview of Oil Production Stages: Enhanced Oil Recovery Techniques and An Overview of Oil Production Stages: Enhanced Oil Recovery Techniques and Nitrogen Injection*. (March 2016). h

Andrio, D., Asmura, J., Yenie, E., & Putri, K. (2019). Enhancing BOD 5 /COD ratio co-substrate tofu wastewater and cow dung during ozone pretreatment. *MATEC Web of Conferences*, 276, 06027.

Dewa, R. P. (2016). Penanganan Baku Mutu Kualitas Air Limbah Produksi Atc dari Rumput Laut *Euचेuma cottonii*. *Ejournal Keminperin*, 12(02), 34–40.

Kepa, U., Stanczyk-Mazanek, E., & Stepniak, L. (2008). The use of the advanced oxidation process in the ozone + hydrogen peroxide system for the removal of cyanide from water. *Desalination*, 223(1–3), 187–193.

Merényi, G., Lind, J., Naumov, S., & Sonntag, C. Von. (2010). Reaction of ozone with hydrogen peroxide (peroxone process): A revision of current mechanistic concepts based on thermokinetic and quantum-chemical considerations. *Environmental Science and Technology*, 44(9), 3505–3507.

- Nugroho, R., & Mahmud, I. (2018). PENGOLAHAN AIR LIMBAH BERWARNA INDUSTRI TEKSTIL DENGAN PROSES AOPs. *Jurnal Air Indonesia*, 1(2), 163–172.
- Rachmah, A.N.L., Susanti, Y., Ansori, A., & Sekaringgalih, R. (2023). *Pemanfaatan Biji Lamtoro untuk Pembuatan Kecap dan Pemberdayaan Kelompok PKK di Desa Kaliploso Cluring, Banyuwangi*. 26(2), 157–165.
- Pergub Jatim No. 52. (2014). Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya. *Perubahan Atas Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*, (August), 15.
- Permadi. (2011). Utilitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit. *NALARS Jurnal Arsitektur*, 10(2), 173–184.
- Rahmayanti, A., Faradila, R. S., Masrufah, A., Puput, D., Permata, A., Lindi, S. 2022 P., ... Sari, P. (2022). Pengolahan Lindi Menggunakan Advanced Oxidation Process (AOPs) Berbasis Ozon. *Journal of Research and Technology*, 8(1), 141–148.
- Sabri, S. N., Abidin, C. Z. A., Fahmi, F., Kow, S. H., & Razali, N. A. (2018). The performance and decolourization kinetics of O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation of reactive green 19 dye in wastewater. *E3S Web of Conferences*, 34, 1–8.
- Sekaringgalih, R., Joni, I. M., Widiyastuti, W., & Setyawan, H. (2022). The effect of sodium lauryl sulfate on silica nanofluid stabilization using microbubble method. *AIP Conference Proceedings*, 2470(April).
- Sekaringgalih, R., Rachmah, A. N. L., Susanti, Y., A'yun, A. Q., & Ansori, A. (2023). Edukasi Pembuatan Pestisida Nabati dari Kulit Bawang Merah di Desa Bagorejo Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 8(2), 318–327.
- Spiliotopoulou, A., Rojas-Tirado, P., Chhetri, R. K., Kaarsholm, K. M. S., Martin, R., Pedersen, P. B., ... Andersen, H. R. (2018). Ozonation control and effects of ozone on water quality in recirculating aquaculture systems. *Water Research*, 133, 289–298.
- Syafarudin, A., & Novia. (2013). Produksi Ozon dengan Bahan Baku Oksigen Menggunakan Alat Ozon Generator. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(2), 1–9.
- Trapido, M. (2012). Ozone Based Advanced Oxidation Process. *Unesco EOLSS*.
- Yamashita, F., Shibata, N., & Suzuki, T. (2007). *Effect of pH and Hydrogen Peroxide on Ozonic Decomposition of*. (September), 16–20.
- Zaharia, C., Suteu, D., Muresan, A., Muresan, R., & Popescu, A. (2009). Textile wastewater treatment by homogeneous oxidation with hydrogen peroxide. *Environmental Engineering and Management Journal*, 8(6), 1359–1369.