



PROSES OZONASI UNTUK PEMANFAATAN KEMBALI BUANGAN AKHIR PENGOLAHAN POME SEBAGAI AIR BAKU DI INDUSTRI MINYAK SAWIT

**Dzaki Furqoon¹, David Andrio¹, Jecky Asmura¹, Gunadi Priyambada¹, Elvi Yennie¹, Hafidawati¹,
Syarfi Daud¹, Muhammad Reza¹, Fri Murdiya²**

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

Universitas Riau Kampus Binawidya Km 12,5

Corresponding Author: davidandrio@lecturer.unri.ac.id

Abstract

The final disposal of POME processing is a problem of the palm oil industry, because it does not achieve the established quality standards and can damage lives in aquatic biota. This study aims to treat the final discharge of POME treatment using the ozonation method to set aside the chemical oxygen demand (COD) and total suspended solid (TSS) parameters so that they can meet applicable quality standards and processed results can be used as raw water in the palm oil industry. This study was preceded by the determination of ozone concentrations formed from ozone generators. The next stage is the final waste treatment of POME treatment by the ozonation method with variations in ambient air flow rates ie 2; 3; 4 and 5 L/minute and contact time with variations 0; 5; 10 and 15 minutes. The results showed a decrease in COD and TSS concentrations. The best decrease in COD concentration occurs at contact time 15 minutes for ambient air flow rate 2 L/minute with an allowance efficiency of 20%. The efficiency of the best TSS concentration of 85.7% occurs at contact time 5 minutes for ambient air flow rate 4 L/minute, at 10 minutes contact time for ambient air flow rates 5 L/minute, and at 15 minutes contact time for ambient air flow rates 4 and 5 L/minute.

Keywords: Final discharge of POME, Chemical Oxygen Demand, Ozone and Total

Abstrak

Buangan akhir pengolahan POME merupakan permasalahan industri minyak sawit saat ini, karena tidak mencapai baku mutu yang telah ditetapkan dan dapat merusak kehidupan pada biota akuatik. Penelitian ini bertujuan mengolah buangan akhir pengolahan POME menggunakan metode ozonasi untuk menyisihkan parameter chemical oxygen demand (COD) dan total suspended solid (TSS) sehingga dapat memenuhi baku mutu yang berlaku dan hasil olahan dapat digunakan sebagai air baku di industri minyak sawit. Penelitian ini didahului dengan penentuan konsentrasi ozon yang terbentuk dari alat generator ozon. Tahap selanjutnya dilakukan pengolahan limbah buangan akhir pengolahan POME dengan metode ozonasi dengan variasi laju alir udara ambien yaitu 2; 3; 4 dan 5 L/menit dan waktu kontak dengan variasi 0; 5; 10 dan 15 menit. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi COD dan TSS. Penurunan konsentrasi COD terbaik terjadi pada waktu kontak 15 menit untuk laju alir udara ambien 2 L/menit dengan efisiensi penyisihan sebesar 20%. Efisiensi penyisihan konsentrasi TSS terbaik yaitu sebesar 85,7% terjadi pada waktu kontak 5 menit untuk laju alir udara ambien 4 L/menit, pada waktu kontak 10 menit untuk laju alir udara ambien 5 L/menit, dan pada waktu kontak 15 menit untuk laju alir udara ambien 4 dan 5 L/menit.

Kata Kunci: Buangan akhir pengolahan POME, Chemical Oxygen Demand, Ozonasi dan Total Suspended Solid

1. PENDAHULUAN

Sawit merupakan salah satu komoditas hasil perkebunan yang mempunyai peran penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia karena kemampuannya menghasilkan minyak nabati yang banyak dibutuhkan oleh sector industri dan dapat dimanfaatkan menjadi minyak masak minyak industri, maupun bahan bakar (biodiesel) (Badan Pusat Statistik, 2018). Percepatan pengembangan industri kelapa sawit di Asia Tenggara, khususnya Indonesia berdampak pada meningkatnya produksi yang dihasilkan sehingga ekstraksi proses minyak sawit banyak mengkonsumsi air proses yang akan berakhir sampai dengan limbah pabrik kelapa sawit (POME) (Tan dkk., 2014). Menurut Zainal dkk., (2017) pengolahan POME yang banyak digunakan saat ini adalah *stabilization pond*. Pengolahan dengan sistem ini melalui proses pendinginan, pencampuran, penguraian anaerobik, fakultatif dan aerobik dan akan berakhir menjadi buangan akhir pengolahan POME.

Pemanfaatan kembali buangan akhir pengolahan POME merupakan salah satu bentuk alternative pencegahan dampak negatif terhadap lingkungan (Ratpukdi, 2012). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 3 Tahun 2014 tentang program penilaian peringkat kinerja perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup, pencapaian dibidang efisiensi air dan penurunan beban pencemaran air merupakan salah satu kriteria dalam meningkatkan penilaian dari evaluasi kinerja suatu perusahaan sehingga pengolahan dari buangan akhir pengolahan POME di indsutri minyak sawit ini dapat untuk dilakukan.

Metode ozonasi telah diterapkan dalam pengolahan limbah cair terkhusus pada limbah industri dengan memiliki efisiensi penyisihan warna, COD, BOD dan TSS (Ratnawati, 2011; Isyuniarto dkk, 2006). Ozon digunakan sebagai desinfektan pilihan dalam pengolahan air, karena efektif dalam menonaktifkan berbagai mikroorganisme dan memiliki kemampuan dalam menyisihkan kontaminan organik dibandingkan dengan desinfektan berbasis klor (Sgroi., 2016). Keuntungan dari proses ini adalah potensi oksidasi yang tinggi dari ozon, bahkan pada konsentrasi rendah, efisiensinya tinggi dalam dekomposisi bahan organik karena ozon termasuk oksidan kuat di dalam air, dan sensitivitasnya yang rendah terhadap perubahan suhu (De Souza dkk., 2010; Krisnawati dkk., 2014).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan metode ozonasi dapat digunakan dalam pengolahan lanjutan buangan akhir pengolahan POME sehingga dapat menyelesaikan masalah pencemaran bagi masyarakat dan air hasil pengolahan dapat digunakan kembali sebagai air baku di industry minyak sawit.

2. METODE

2.1 Preparasi Sampel

Sampel buangan akhir pengolahan POME dianalisis untuk karakteristik awal yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Karakteristik Awal limbah POME

Parameter	Penelitian ini*	Baku Mutu Air Limbah**	Baku Mutu Air Golongan III***
pH	9,0	6,0 - 9,0	6-9
COD total (mg/L)	290,9	350	50
TSS (mg/L)	14	-	400

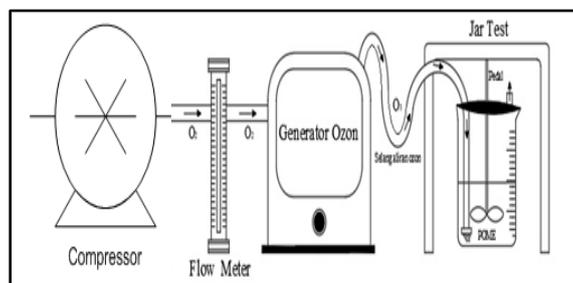
Keterangan : * Hasil uji karakteristik awal

**Permen LH No. 5 Tahun 2014

*** PP No. 82 Tahun 2001

2.2 Alat dan Bahan

Proses ozonasi dilakukan dengan menggunakan generator ozon yang dialiri oleh udara ambien. Skema alat dapat dilihat pada Gambar 1. Menggunakan bahan kimia yang digunakan dalam penentuan produksi ozon dan analisis COD dan TSS.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

2.3. Metode Analisis

Dilakukan pengujian awal dalam mengetahui jumlah ozon yang diproduksi yaitu dengan menggunakan metode iodometri. Sampel hasil uji setiap variasi waktu kontak ozonasi dan laju alir udara ambien dianalisis dengan Parameter COD total dan TSS menggunakan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* yakni SM 5220 C dan SM 2540 D.

2.4 Penelitian Utama

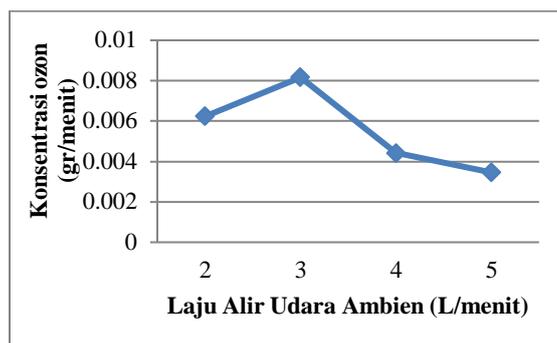
Proses ozonasi dilakukan dengan skema alat dari compressor yang berfungsi untuk mengalirkan udara ambien, flow meter untuk mengetahui laju alir udara ambien yang mengalir, generator ozon berfungsi untuk membentuk udara ambien yang masuk agar menjadi ozon, dan *jar test* sebagai pengaduk agar meratanya ozon didalam sampel dengan kecepatan 150 rpm. Pengujian dilakukan pada sampel buangan akhir pengolahan POME dengan volume sebanyak 500 mL untuk tiap variasi lalu dikontakkan terhadap ozon sesuai dengan variasi penelitian. Variasi yang dilakukan yaitu untuk waktu kontak selama 5; 10; dan 15 menit dan variasi laju alir ambien sebesar 2; 3; 4; dan 5 L/menit. Setelah dilakukan seluruh variasi penelitian, dilanjutkan dengan analisis COD total dan TSS untuk tiap variasi sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan karakteristik awal dari buangan akhir pengolahan POME. Penelitian ini menggunakan pH alami dari buangan akhir pengolahan POME yakni 9,0 dan berada pada rentang yang telah ditentukan oleh baku mutu buangan akhir pengolahan POME dan baku mutu air golongan III sebagai air baku di industri. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, air baku yang digunakan untuk industry merupakan air golongan III dengan konsentrasi COD 50 mg/L dan TSS 400 mg/L. Konsentrasi TSS pada buangan akhir pengolahan POME penelitian ini sudah berada dibawah baku mutu yang ditetapkan, namun konsentrasi COD total masih berada di atas baku mutu yang ditetapkan yakni 290,9 mg/L. sehingga memerlukan pengolahan lanjutan agar dapat digunakan sebagai air baku di industri minyak sawit.

3.1 Penentuan Jumlah Ozon yang di Produksi

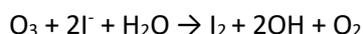
Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa pengaruh laju alir udara ambien terhadap konsentrasi ozon yang terbentuk. Pada laju alir udara ambien 2 L/menit konsentrasi ozon yang terbentuk yaitu 0,00624 gr/menit dan mengalami peningkatan pada laju alir udara ambien 3 L/menit menjadi 0,00816 gr/menit. Namun, terjadi penurunan konsentrasi ozon yang dihasilkan yaitu pada laju alir udara ambien 4 L/menit menjadi 0,004416 gr/menit dan kembali mengalami penurunan pada laju alir udara ambien 5 L/menit menjadi 0,003456 gr/menit.



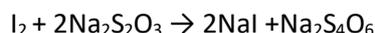
Gambar 2. Pengaruh Laju Alir Udara Ambien Terhadap Konsentrasi Ozon yang Terbentuk

Konsetrasi ozon maksimum yang terbentuk yaitu pada laju alir udara ambien 3 L/menit dan pada penambahan laju alir udara ambien menjadi 4 dan 5 L/menit mengalami penurunan. Hal ini terkait dengan densitas (muatan) yang masuk ke dalam generator. Pada saat diberikan debit udara ambien yang lebih kecil, maka densitas molekul menjadi lebih kecil sehingga jarak jalan bebas rata-rata masing-masing molekul untuk dapat bergerak menjadi lebih panjang. Sehingga menyebabkan transfer energi ketika terjadi tumbukan menjadi lebih efektif apabila dibandingkan dengan densitas yang lebih tinggi. Jumlah ozon yang terbentuk terbatas pada cukup atau tidaknya energi potensial yang digunakan untuk merubah oksigen menjadi ozon (Syafarudin dan Novia, 2013).

Dalam penentuan jumlah ozon yang dihasilkan dari generator, ozon dialirkan kedalam wadah tertutup yang berisi laruta KI dengan konsentrasi tertentu. Persamaan reaksi kimianya yaitu:

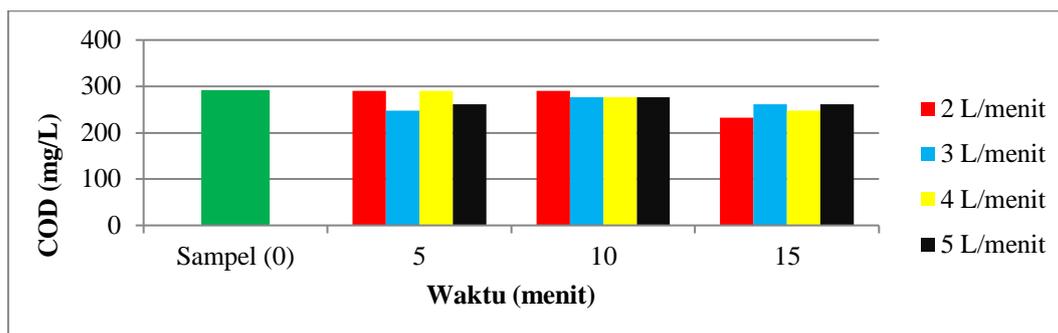


Jumlah ekuivalen I_2 yang terbentuk dalam larutan KI dapat ditambahkan asam sulfat, setelah pengasaman dengan asam sulfat, dititrasi dengan natrium thiosulfat dengan reaksi (Zahroh, 2012):



3.2 Pengaruh Laju Alir Udara Ambien dan Waktu Kontak Ozonasi Terhadap Persentase Penyisihan COD

Pengaruh laju alir udara ambien dan waktu kontak ozonasi terhadap penyisihan COD dapat dilihat pada Gambar 3.

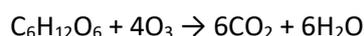
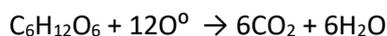


Gambar 3. Pengaruh Laju Alir Udara Ambien dan Waktu Kontak Ozonasi Terhadap Penyisihan COD

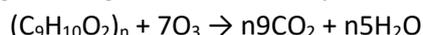
Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan pengaruh laju alir udara ambien dan waktu kontak ozonasi terhadap penyisihan konsentrasi COD. Tingkat efisiensi penyisihan COD tertinggi yaitu cenderung pada waktu kontak 15 menit untuk laju alir udara ambien 2 L/menit yaitu sebesar 20% dengan konsentrasi COD awal sebesar 290,9 mg/L menjadi 232,7 mg/L. Penelitian ini sesuai dengan penelitian Estikarini (2016), Isyuniarto dkk (2006), dan Ratnawati (2011) dimana semakin lama waktu kontak ozon saat dikontakkan ke limbah maka semakin besar efisiensi penyisihan dari konsentrasi COD. Dengan menambah waktu ozonasi maka akan menambah jumlah ozon dan OH radikal, sehingga jumlah ion ozon dan OH radikal yang mengoksidasi zat organik pada limbah juga akan semakin banyak. Penyisihan COD tertinggi terjadi pada laju alir udara ambien 2 L/menit dengan waktu kontak selama 15 menit yaitu sebesar 20% yaitu dari konsentrasi COD awal sebesar 290,9 mg/L menjadi 232,7 mg/L.

Terjadinya penurunan konsentrasi COD pada penelitian ini menunjukkan bahwa ozon dapat memecah sebagian ikatan dengan baik sehingga dapat menguraikan senyawa organik yang terdapat didalam limbah buangan akhir pengolahan POME. Penggunaan O_3 sebagai oksidator kimia merupakan metode yang potensial untuk menyisihkan COD dalam air limbah buangan akhir pengolahan POME. Ketika O_3 terdekomposisi di dalam air, maka akan terjadi reaksi dengan hasil akhir radikal hidroksil (OH^+) dan *superoxide* (O_2^+). OH radikal bereaksi dengan komponen terlarut dan menghasilkan rangkaian proses oksidasi sampai komponen tersebut terminimalisasi seluruhnya (Karat, 2013).

Bahan lignoselulosa sawit kaya akan karbohidrat berupa pati dan gula serta mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin (Hashim dkk, 2011). Senyawa organik yang terkandung dalam limbah ini adalah glukosa yang berasal dari senyawa karbohidrat. Karbohidrat yang larut ke dalam air akan berubah menjadi glukosa dengan rumus kimia $C_6H_{12}O_6$. Glukosa akan teroksidasi oleh atom oksigen O^0 dan O_3 yang terbentuk dari disosiasi atom oksigen menyebabkan zat organik akan terurai menjadi CO_2 dan H_2O . Pada pengolahan dengan metode ozonasi, glukosa akan teroksidasi oleh molekul ozon. Reaksi stoikiometri glukosa dengan molekul oksigen dan ozon yaitu (Estikarini, 2016; Eckenfelder dkk, 1989):



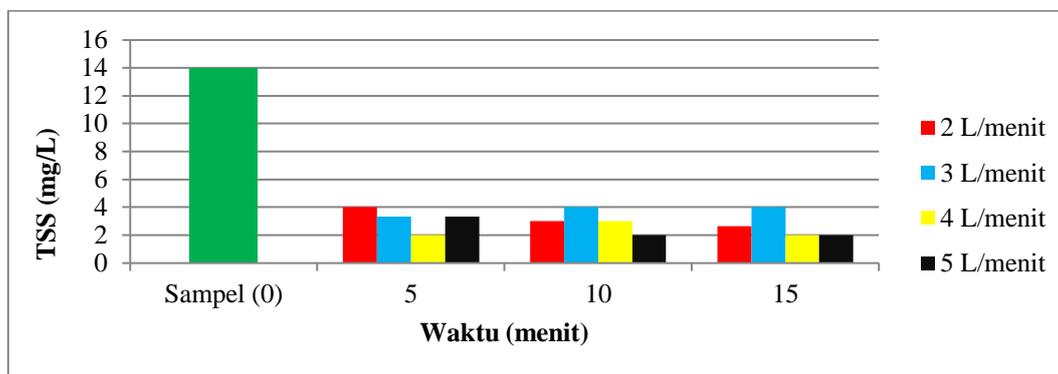
Senyawa organik kompleks dari turunan senyawa lignin dan senyawa polimer tanin merupakan senyawa utama yang menyebabkan COD pada POME yang tinggi dikarenakan dan jumlah ion bikarbonat yang lebih besar sehingga konsentrasi senyawa yang sulit teroksidasi dan akan mengakibatkan konsumsi ozon meningkat sehingga efisiensi pengolahan menjadi rendah (Karimi dkk, 2011). Reaksi stoikiometri lignin dengan molekul ozon yaitu:



Terjadinya fluktuasi pada tiap pengujian dikarenakan kinerja kompresor yang belum optimum dalam menghasilkan ozon. Kompresor berfungsi untuk mendorong kerja generator oksigen dan ozon. Hal ini menunjukkan ozon (O_3) belum mengikat senyawa organik lainnya karena sifat ozon (O_3) yang tidak stabil sehingga membutuhkan elektron untuk menjadi stabil. Suplai ozon yang dilakukan secara terus menerus pada penelitian ini mengakibatkan turunnya parameter COD (Estikarini dkk, 2016). Menurut Ozotech dalam Suriyatin (2007) aliran gas yang terlalu cepat dan tidak stabil mengakibatkan banyaknya ozon yang terbuang.

3.3 Pengaruh Laju Alir Udara Ambien dan Waktu Kontak Ozonasi Terhadap Persentase Penyisihan TSS

Proses ozonasi mempengaruhi terhadap penyisihan konsentrasi TSS yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Laju Alir Udara Ambien dan Waktu Kontak Ozonasi Terhadap Penyisihan TSS

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh laju alir udara ambien dan waktu kontak ozonasi terhadap penyisihan konsentrasi TSS. Tingkat efisiensi penyisihan TSS tertinggi yaitu cenderung pada waktu kontak 15 menit. Penelitian ini sesuai dengan penelitian Isyuniarto dkk (2006), dan Saniy dkk (2017) dimana semakin lama waktu kontak ozon saat dikontakkan ke limbah maka semakin besar efisiensi penyisihan dari konsentrasi TSS.

Dalam penelitian Isyuniarto dkk, 2006, penurunan konsentrasi TSS dikarenakan radikal hidroksil langsung bertumbukkan dengan zat organik dalam air limbah sehingga dapat mengoksidasi parameter pencemar dalam air limbah. Limbah POME memiliki padatan yang terdiri dari dari senyawa organik seperti selulosa, minyak dan lemak, protein dan juga terdapat bakteri. Dari keseluruhan jumlah padatan tersuspensi pada POME, 50% padatan tersuspensi tersebut merupakan senyawa selulosa. Adapun padatan anorganik berupa pasir halus dan lumpur alami yang sulit terurai dari mikroorganisme. Partikel organik dari bahan dekomposisi berkontribusi pada peningkatan volume padatan tersuspensi. Kandungan senyawa organik yang tinggi pada POME mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai zat padat tersuspensi (Aziz dkk, 2020; Zinatizadeh, dkk 2017). Ozonasi menghilangkan zat padat yang sangat kecil dengan menggabungkannya menjadi partikel yang lebih besar, partikel yang bisa disaring dan dengan reaksi langsung melalui oksidasi kimia (Summerfelt, 2012). Pecahan zat padat terlarut yang mudah menguap sangat terpengaruh dengan proses ozonasi (Dianawati dkk, 2017).

Penurunan konsentrasi TSS mengalami fluktuasi. Menurut Estikarini dkk, 2016 terjadinya fluktuasi penurunan konsentrasi TSS untuk tiap laju alir udara ambien pada waktu kontak yang telah ditetapkan pada penelitian ini dikarenakan ozon belum mengikat senyawa organik lainnya secara

stabil karena sifat ozon sendiri tidak stabil. Namun, untuk nilai konsentrasi akhir TSS keseluruhan sudah memenuhi baku mutu air golongan III sebagai air baku di industri.

4. KESIMPULAN

Metode Ozonasi dalam penelitian ini memiliki efisiensi penyisihan konsentrasi COD dan TSS yang terbaik terjadi pada waktu kontak 15 menit. Laju alir udara ambien 2 L/menit dengan waktu kontak selama 15 menit dapat menyisihkan konsentrasi COD total dari 290,9 mg/L menjadi 232,7 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 20%. Laju alir udara ambien 4 L/menit dengan waktu kontak selama 5 menit, 5 L/menit dengan waktu kontak selama 10 menit, 4 dan 5 L/menit dengan waktu kontak selama 15 menit dapat menyisihkan konsentrasi TSS dari 14 mg/L menjadi 2 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 85,7%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, Md.M.A., Kassim, K.A., Elsergany, M.M., Anuar, S., Jorat, M.E., Yacoob, H., Ahsan, A., Imteaz, M.A., & Arifuzzaman. 2020. Recent advances on palm oil mill effluent (POME) pretreatment and anaerobic reactor for sustainable biogas production. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 118, Hal. 99-105.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia*.
- De Souza, S.M.D.A.G.U., Bonilla, K.A.S., & De Souza, A.A.U. 2010. Removal of COD and color from hydrolyzed textile azo dye by combined ozonation and biological treatment. *Journal Of Hazardous Materials*, Vol. 179, Hal. 35-42.
- Dianawati, R.I., Hadiwidodo, M., Wahyuningsih, N.E., & Nur, M. 2017. Efektivitas Ozon Dalam Menurunkan Kadar TSS Dan Nilai pH Limbah Cair Rumah Sakit Dr. Adhyatma, Mph Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol. 5, No. 5.
- Eckenfelder, W.W., Argaman, Y., & Miller, E. 1989. Process Selection Criteria for The Biological Treatment of Industrial Wastewaters. *Environmental Progress*, Vol. 8, No. 1.
- Estikarini, H.D., Hadiwidodo, M., & Luvita, V. 2016. Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil dengan Metode Ozonasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol 5, No. 1.
- Hashim, R., Said N., Lamaming J., Baskara M., Sulaiman O., Sato M., Hiziroglu S. & Sugimoto T. 2011. Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *Journal of Materials and Design*, 31: 2520-2525
- Iyuniarto., & Purwadi, A. 2006. Kajian Penggunaan Oksidan Ozon pada Pengolahan Limbah Cair Industri Udang. *GANENDRA*, Vol. IX, No.1.
- Karat, I.. 2013. *Advanced Oxidation Processes for Removal of COD from Pulp and Paper Mill Effluents*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Karimi, S., Abdolkhani, A & Karimi, A. 2011. Discoloration of Soda Pulping Effluent by Advanced Oxidation Processes. *Engineering e-Transaction*. ISSN 1823-6379, 6, 20-25.
- Krisnawati, A., Sururi, M.R., & Ainun, S. 2014. Pengaruh Karakteristik Lindi terhadap Ozonisasi Konvensional dan *Advanced Oxidation Processes*. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, Vol. 2, No. 2.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2014 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Ratpukdi, T. 2012. Decolorization of Anaerobically Treated Palm Oil Mill Wastewater Using Combined Coagulation and Vacuum Ultraviolet-Hydrogen Peroxide. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 3, No. 5.

- Ratnawati, E. 2011. Pengaruh Waktu Reaksi dan Suhu pada Proses Ozonasi terhadap Penurunan Warna, COD DAN BOD Air Limbah Industri Tekstil. Balai Besar Kimia dan Kemasan: Jakarta Timur.
- Saniy, T.H., Sudarno., dan Purwono 2017. Pengolahan Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi Dengan Biokoagulan Kitosan Dari Limbah Cangkang Udang Dan Metode Ozonasi. *Jurnal Teknik Lingkungan. Vol 6, No.1.*
- Sgroi, M., Roccaro, P., Oelker, G., & Snyder, S.A. 2016. N-Nitrosodimethylamine (NDMA) Formation During Ozonation of Wastewater and Water Treatment Polymers. *Chemosphere, Vol. 144, Hal. 1618-1623.*
- Summerfelt, S.T., Hadiwidodo, & Hochheimer, J.N. 2012. Review of Ozone Processes and Applications as an Oxidizing Agent in Aquaculture. USA: the American Fisheries Society.
- Suriyatin & Siti. 2007. Pengolahan Limbah Cair menggunakan AOP Ozon-UV pada Limbah Cair Industri Minyak terhadap Variasi Konsentrasi Ozon dan Waktu Detensi. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Syafarudin, A., & Novia. 2013. Produksi Ozon Dengan Bahan Baku Oksigen Menggunakan Alat Ozon Generator. *Jurnal Teknik Kimia, Vol. 19, No. 2.*
- Tan, Y.H., Goha, P.S, Lai, G.S, Lau, W.J & Ismail, A.F. 2014. Treatment of Aerobic Treated Palm Oil Mill Effluent (AT-POME) by Using TiO₂ Photocatalytic Process. *Journal Technology Science Engineering, Vol. 70, Hal. 61-63.*
- Zahroh., & Fatimatuz. 2012. Studi Awal Aplikasi Teknologi Ozon untuk Deaktivasi Spora Bacillus sp. pada Media Padat. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknik UI, Depok.
- Zainal, N.H., Jalani, N.F., Mamat, R & Astimar. A.A. 2017. A Review on The Development of Palm Oil Mill Effluent (POME) Final Discharge Polishing Treatments. *Journal of Palm Research. Vol.29, No. 4, Page. 528-540.*
- Zinatizadeh, A. A., Ibrahim, S. Aghamohammadi, N., Mohamed, A. R., Zangeneh, H., & Mohammadi, P. 2016. Polyacrylamide-induced Coagulation Process Removing Suspended Solids from Palm Oil Mill Effluent. *Separation Science and Technology. ISSN: 0149-6395.*