

Konsentrasi Sisa Ozon pada Pengolahan Lindi TPA Paripurna menggunakan Advanced Oxidation Process (AOP)

KASIH SAKINAH IRAWAN, M. RANGGA SURURI, SITI AINUN

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITENAS Bandung
Email: kasihsakinahirawan@yahoo.com

ABSTRAK

Lindi merupakan limbah cair dari timbunan sampah di TPA yang dapat bersumber dari air hujan maupun degradasi dari sampah itu sendiri. Sampel lindi yang berasal dari TPA Paripurna Leuwigajah diolah dengan mengaplikasikan proses oksidasi menggunakan ozon, baik ozonisasi konvensional maupun Advanced Oxidation Process (AOP). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon karakteristik lindi pada proses ozonisasi konvensional dan AOP terhadap konsentrasi sisa ozon (KSO) yang terukur. Variasi AOP dilakukan menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan dosis 0,3 g/L dan 0,6 g/L, dimana dosis tersebut ditentukan melalui penelitian pendahuluan. Proses yang berlangsung secara semi-batch menggunakan ozon kontaktor bervolume 1 Liter dengan interval waktu kontak 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Variasi ozonisasi konvensional menunjukkan KSO yang lebih tinggi dibandingkan variasi AOP/ H_2O_2 dengan dosis 0,3 g/L, dimana perbedaan nilai yang diperoleh sebesar 0,095 mg/L. Berdasarkan data tersebut maka H_2O_2 dengan dosis 0,3 g/L dapat berfungsi sebagai inisiator dalam memicu dekomposisi ozon.

Kata kunci: Lindi, Leuwigajah, Ozonisasi, Sisa Ozon

ABSTRACT

Leachate is the liquid waste from the landfill that sourced from rain or degradation of that waste. It dissolves soluble materials, including organic and anorganic matter. In this research, leachate from the old landfill treated by applying oxidation process using ozone as conventional ozonation or Advanced Oxidation Process (AOP). This research was conducted to understand the response of leachate characteristic to the process of the conventional ozonation and AOP process by using ozone residual concentration. Leachate sample was treated by 3 different treatments, like conventional ozonation, AOP using 0,3 g/L H_2O_2 , and AOP using 0,6 g/L H_2O_2 as an optimum dosage by preliminary research. Semi-batch process was used in one litre ozone contactor with the interval contact time at 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 minutes. The ozonation conventional variation showed a higher ozone residual concentration than AOP/ H_2O_2 using 0,3 g/L, which the difference is 0,095 mg/L. Based on the result, the optimum H_2O_2 using 0,3 g/L H_2O_2 would become an initiator to stimulate the decomposition of ozone.

Keywords: Leachate, Leuwigajah, Ozonation, Ozone residual

1. PENDAHULUAN

Lindi merupakan limbah cair dari timbunan sampah di TPA yang dapat bersumber dari air hujan maupun degradasi dari sampah itu sendiri. Kandungan materi organik pada air lindi umumnya sangat tinggi, selain itu juga bahan logam berat akibat degradasi dari sampah yang ditimbun menunjukkan bahwa air lindi bersifat toksik. Lindi yang mengandung zat-zat berbahaya tersebut dapat menyebabkan kontaminasi yang potensial baik bagi air permukaan maupun air tanah (Soemirat, 1996). Banyaknya kandungan berbahaya pada lindi dapat menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan apabila dialirkan ke badan air tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu.

Salah satu hal yang dapat mempengaruhi karakteristik lindi adalah umur TPA. Pada umur TPA yang masih muda dan masih beroperasi karakter lindi terbilang lebih mudah untuk didegradasi secara biologi, sedangkan karakter lindi yang berasal dari TPA yang sudah tua akan lebih kompleks dan cenderung bersifat *non biodegradable* (Renou, 2008). Pengolahan lindi dapat dilakukan secara biologis maupun fisik kimia. Di Indonesia, pengolahan lindi banyak dilakukan secara biologis, padahal pengolahan biologis membutuhkan luas lahan yang cukup besar serta waktu yang lama untuk menurunkan kandungan organik yang tinggi yang terdapat pada air sampah.

Penelitian ini menggunakan sampel lindi dari TPA Paripurna Leuwigajah. TPA paripurna merupakan sebutan bagi TPA yang telah berumur tua, lebih dari 10 tahun. TPA Paripurna ini beroperasi sejak tahun 1987 sampai tahun 2005. Lindi tersebut dibiarkan mengalir ke dalam tanah yang kemudian sangat berpotensi untuk merusak kondisi tanah dan air tanah di daerah tersebut. Padahal di sekeliling lahan bekas TPA Leuwigajah banyak digunakan oleh warga sekitar untuk bercocok tanam, selain itu masih banyak masyarakat di sana yang menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Kondisi sampel lindi yang bersumber dari TPA paripurna menghasilkan lindi yang bersifat sulit terurai secara alami. Lindi akan didominasi oleh kandungan *non biodegradable*, sehingga pengolahan yang lebih efektif untuk dilakukan adalah secara fisik kimia.

Bentuk pengolahan fisik kimia yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pengolahan secara oksidasi menggunakan oksidator kuat yaitu ozon. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa ozon merupakan oksidator yang kuat dalam mendegradasi kandungan organik pada sampel, terutama jika telah terdekomposisi membentuk OH radikal. Ozon memiliki kemampuan mengoksidasi yang sangat besar dalam mendegradasi kandungan organik pada lindi. Terutama jika ozon tersebut terdekomposisi menjadi OH radikal yang merupakan oksidator terkuat.

Maksud dari penelitian ini adalah mengetahui konsentrasi sisa ozon (KSO) pada setiap variasi yang dilakukan. Pengukuran pada parameter KSO dapat menggambarkan jenis reaksi yang terjadi. Dimana reaksi langsung yang dilakukan oleh ozon secara selektif atau reaksi tidak langsung yang dilakukan oleh OH radikal secara tidak selektif dalam mendegradasi kandungan organik dan anorganik dalam sampel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik awal dan responnya terhadap nilai KSO. Selain itu, untuk menginisiasi terjadinya reaksi tidak langsung dilakukan penambahan H_2O_2 dengan dosis yang optimum. Penambahan dosis yang tepat dapat menjadikan H_2O_2 sebagai inisiator dalam proses dekomposisi ozon menjadi OH radikal. Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan pengolahan lindi secara efektif menggunakan proses fisik kimia lebih dikembangkan untuk mencegah terjadinya pencemaran yang terjadi terhadap lingkungan.

2. METODOLOGI

Tahapan penelitian ini dibagi menjadi 5 bagian, yaitu studi pustaka, persiapan penelitian, pengukuran karakteristik awal, penelitian, analisis pembahasan dan kesimpulan.

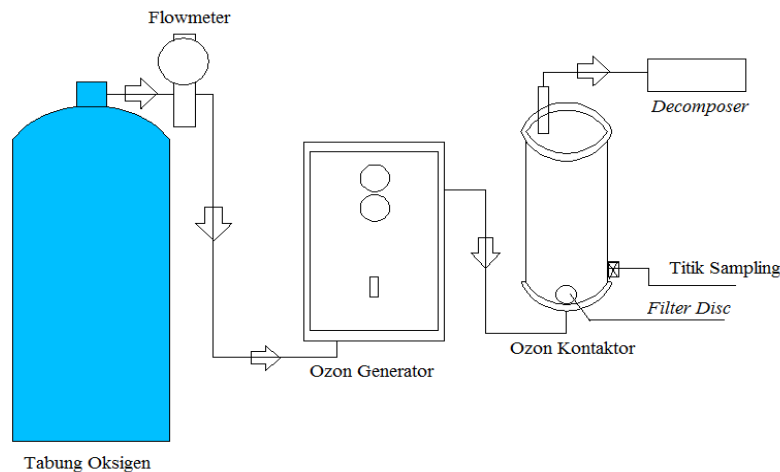
2.1 Studi Pustaka

Tinjauan terhadap literatur diperlukan untuk mengetahui dan memahami rumusan teoritis yang dapat mendukung penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini. Studi pustaka dapat diperoleh dari berbagai media, seperti: buku, jurnal, dan penelitian-penelitian sejenisnya yang telah dilakukan

2.2 Persiapan Penelitian

Tahap ini meliputi persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian.

Alat yang digunakan pada penelitian ini mencakup rangkaian reaktor dan peralatan penunjang penelitian. Pada pembuatan reaktor, alat yang digunakan adalah tabung oksigen (O_2), *flowmeter*, ozon generator, dan ozon kontaktor.



Gambar 1. Skema Rangkaian Reaktor

Tabung O_2 berfungsi untuk mensuplai O_2 ke ozon generator, dimana aliran O_2 yang disuplai diatur oleh *flowmeter*. Ozon generator pada rangkaian ini menggunakan prinsip *plasma corona discharge* yang memecah O_2 untuk membentuk ozon (O_3). Gas ozon yang terbentuk dialirkan melalui selang ke sampel di dalam ozon kontaktor secara homogen menggunakan *filter disc*.

Tahap ini bertujuan mempersiapkan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk melakukan analisis sampel. Metode yang digunakan dalam menganalisis sampel mengacu pada SNI dan *Standard Methods for The Examination Water and Wastewater 21th edition*. Pada tahap ini termasuk mempersiapkan sampel lindi yang dipergunakan dalam penelitian.

2.3 Pengukuran Karakteristik Awal

Karakteristik awal yang diukur pada sampel lindi adalah suhu, pH, alkalinitas, organik aromatik, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Pengukuran dilakukan dengan metode-metode yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode Pemeriksaan Sampel

Parameter	Metode	Sumber
Suhu	Elektrokimia	SNI 06-6989.23-2005
pH	Elektrokimia	SNI 06-6989.11-2004
Alkalinitas	Titration Asam Basa	SNI 06-2422-1991
Organik aromatik	<i>UV Absorption Method</i>	SMWW 21 th ed (5910 B)
COD	Titration dengan refluks tertutup	SMWW 21 th ed (5220 C)
BOD	Elektrokimia	SNI 6989.72-2009
KSO	<i>Indigo Collorimetri</i>	SMWW 21 th ed

Pengukuran suhu dan pH dilakukan di lapangan. Tujuan dari pengukuran suhu adalah untuk mengetahui apakah sampel berada pada suhu ruang atau tidak. Sedangkan pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui kondisi sampel yang berada pada rentang netral atau tidak.

Nilai alkalinitas pada sampel perlu diketahui dimana ion karbonat dan bikarbonat yang merupakan penyebab utama alkalinitas berperan sebagai inhibitor dalam proses dekomposisi ozon. Sedangkan pengukuran kandungan organik aromatik dilakukan untuk mengetahui adanya peran inisiator dan promotor yang juga terdapat didalam sampel.

Pengukuran nilai COD dan BOD dilakukan untuk menunjang pernyataan rendahnya biodegradabilitas lindi, terutama pada lindi yang diperoleh dari TPA paripurna. Sehingga pengolahan secara fisik kimia merupakan pengolahan yang efektif untuk dilakukan.

2.4 Penelitian

Penelitian terdiri dari penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan dosis H₂O₂ optimum dalam variasi AOP. Setelah itu, penelitian utama bertujuan untuk mengetahui KSO pada setiap variasi dengan membandingkan proses ozonisasi konvensional dan AOP/H₂O₂ pada pengolahan lindi. Volume kerja ozon kontak yang digunakan sebanyak 1 Liter dan pengukuran dilakukan setiap 10 menit dengan total waktu kontak selama 60 menit.

Pengukuran parameter KSO dilakukan dengan metode *indigo collorimetri* dengan mengacu pada (*Standard Methods for The Examination Water and Wastewater*) SMWW 21th edition. Larutan reagent indigo yang berwarna digunakan dalam mengukur KSO di dalam sampel. Prinsip yang digunakan adalah pada larutan asam ozon akan menghilangkan warna pada indigo dengan cepat. Penurunan nilai absorban adalah linear dengan peningkatan KSO, dimana nilai absorban diukur dengan spektrofotometri.

2.5 Analisis Pembahasan

Hasil penelitian berupa nilai KSO, dimana nilai KSO yang diperoleh pada setiap variasi akan dibandingkan untuk penentuan dosis H₂O₂ optimum serta penelitian utama. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan mengaitkan data secara keseluruhan dan mengetahui jenis reaksi dominan yang terjadi pada variasi tersebut.

2.6 Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dari seluruh penelitian, yaitu mengetahui *trend* KSO pada setiap variasi dan peran H₂O₂ dalam memicu proses dekomposisi ozon membentuk OH radikal.

3. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

3.1 Karakteristik Awal

Pengukuran karakteristik awal dilakukan untuk mengetahui kondisi sampel sebenarnya di lapangan. Selain data primer, data karakteristik awal lindi juga diperoleh dari Badan Pengelolaan Sampah Regional atau disingkat BPSR (2013) sebagai data sekunder. Tabel 2 menyajikan perbandingan data primer dan sekunder parameter-parameter untuk karakteristik awal.

Tabel 2. Perbandingan Data Primer dan Sekunder Karakteristik Awal Lindi TPA Leuwigajah

Parameter	Konsentrasi		Satuan
	Data Primer	Data Sekunder	
Suhu	25,4–26,2	22–26,7 *	°C
pH	6,5–6,9	7,14–7,52 *	-
Alkalinitas	295,0–336,2	200-1000 **	mg/L
Organik aromatik	1,0434–1,0436	-	Abs
COD	280,9–282,3	71–301 *	mg/L
BOD	11,30–14,46	tt–17,6 *	mg/L

*BPSR, 2013

** Damanhuri, 2008

Berdasarkan pengukuran secara langsung, kondisi temperatur lindi berada pada suhu ruang. Selain itu, data primer yang diperoleh masih terdapat di dalam rentang data sekunder dimana hal tersebut menunjukkan adanya kesesuaian dalam perolehan data. Dilihat dari nilai pH, maka kondisi sampel lindi berada pada pH netral yaitu pada rentang 6-9. Meskipun berbeda dengan data sekunder yang diperoleh, namun kedua sumber masih menunjukkan pH karakteristik awal yang berada pada kondisi yang sama, yaitu netral.

Pengukuran alkalinitas pada karakteristik awal lindi bertujuan untuk mengetahui parameter respon yang berperan sebagai inhibitor ketika melakukan proses oksidasi pada sampel. Konsentrasi alkalinitas yang diperoleh ini berada pada nilai yang memenuhi rentang jika dibandingkan dengan konsentrasi alkalinitas pada TPA paripurna.

Senyawa organik aromatik merupakan senyawa organik alami (*Natural Organic Matter* = NOM) yang ditemukan dalam air dapat diukur menggunakan spektrofotometri dengan

cahaya ultraviolet (UV). Senyawa berantai panjang seperti senyawa organik aromatik dapat terukur dengan cahaya UV pada panjang gelombang 200-400 nm, dimana panjang gelombang optimum diperoleh pada 254 nm (SMWW, 2005).

Pengukuran nilai COD pada karakteristik awal dibutuhkan untuk mengetahui kandungan organik pada sampel, khususnya kandungan organik *non biodegradable*. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa organik merupakan salah satu inisiator terjadinya dekomposisi ozon menjadi OH radikal. Selain itu, besarnya kandungan COD juga menunjukkan bahwa sampel ini masih berpotensi untuk mencemari lingkungan sekitar. Sama halnya dengan pengukuran COD, konsentrasi BOD dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik awal lindi, dimana parameter ini mewakili kandungan organik *biodegradable* pada sampel yang juga dapat berperan menjadi inisiator.

Rasio BOD/COD yang diperoleh adalah 0,04 dimana nilai tersebut jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan syarat rekomendasi pengolahan secara biologi yaitu $>0,5$. Rendahnya konsentrasi BOD dibandingkan dengan COD menunjukkan bahwa kandungan pada lindi paripurna menyisakan materi-materi *non-biodegradable* yang lebih dominan, sehingga pengolahan yang lebih efektif dapat dilakukan dengan melakukan pengolahan fisik kimia dalam menyisihkan materi organik.

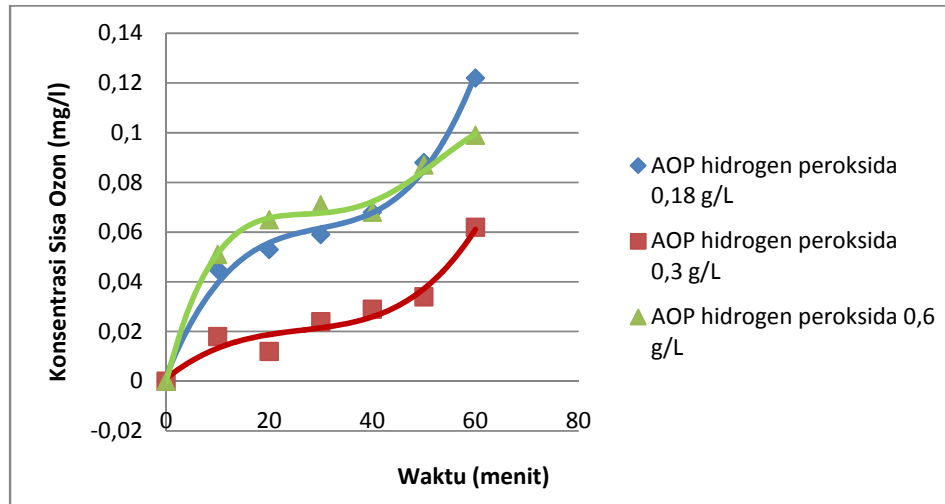
Perolehan data primer untuk parameter COD dan BOD berada pada rentang data sekunder yang berasal dari BPSR. Jika dibandingkan dengan data sekunder, konsentrasi data primer yang diperoleh lebih sempit. Hal ini dapat disebabkan karena metode pengambilan sampel yang digunakan adalah *grab sampling*, sedangkan untuk perolehan data sekunder sampel dilakukan secara periodik setiap bulannya.

3.2 Penentuan Dosis H₂O₂ Optimum

Tizaoui (2007) menyatakan bahwa dosis H₂O₂ yang berlebih dapat mengubah fungsinya dari inisiator menjadi inhibitor pada proses dekomposisi ozon. Pada penelitian tersebut, dosis H₂O₂ yang digunakan untuk AOP adalah 2 g/L dan 6 g/L. Dimana efisiensi penyisihan COD menggunakan AOP/ H₂O₂ 2 g/L menunjukkan performansi lebih baik dibandingkan AOP/ H₂O₂ 6 g/L. Oleh karena itu, penentuan dosis H₂O₂ yang tepat penting untuk memicu proses dekomposisi ozon. Parameter yang digunakan adalah KSO. Parameter ini digunakan karena melalui KSO, dapat diketahui secara umum reaksi yang berlangsung dalam pengolahan ozonisasi, yaitu reaksi langsung atau reaksi tidak langsung. Pemberian H₂O₂ pada dosis yang tepat dalam proses ozonisasi dapat memicu reaksi pembentukan hidroksil radikal. Hal tersebut menunjukkan dengan rendahnya KSO yang terukur, maka ozon yang terdekomposisi menjadi hidroksil radikal semakin banyak.

Pada penentuan dosis H₂O₂ untuk penelitian pendahuluan, tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara variasi dosis. Hal ini dilakukan agar tidak terjadinya kehilangan dosis optimum dalam mengolah sampel. Dimana berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Krisnawati (2014), sampel lindi TPA Sarimukti yang diencerkan 10 kali memiliki dosis optimum H₂O₂ sebesar 0,6 g/L. Mengacu hal tersebut dan melihat kondisi sampel yang lebih jernih, maka dosis H₂O₂ yang dipilih yaitu 0,18 g/L; 0,3 g/L; dan 0,6 g/L.

Berikut ini adalah Gambar 1 yang menunjukkan KSO selama waktu kontak 60 menit pada variasi dosis H₂O₂ 0,18 g/L; 0,3 g/L; dan 0,6 g/L.



Gambar 1. Konsentrasi Sisa Ozon terhadap Waktu Kontak pada Penelitian Pendahuluan

Berdasarkan teori sebelumnya diketahui bahwa reaksi yang berlangsung selama proses pengolahan dapat terjadi secara langsung dan reaksi tidak langsung dimana ozon akan terdekomposisi menjadi OH radikal terlebih dahulu melalui reaksi berantai.

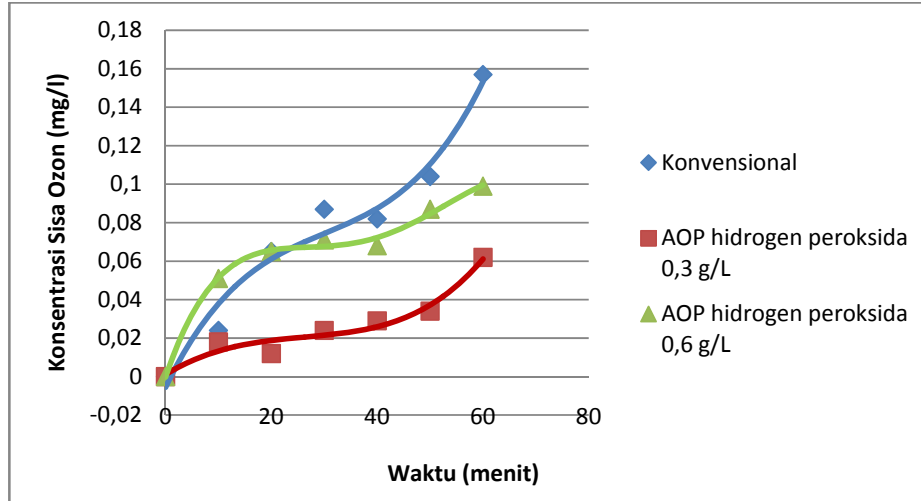
Dilihat dari Gambar 1 di atas, seluruh variasi AOP menunjukkan KSO yang semakin meningkat selama waktu kontak. Namun, KSO tertinggi ditunjukkan pada variasi AOP dengan dosis H₂O₂ 0,18 g/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi langsung lebih banyak terjadi dalam mendegradasi kandungan organik dan anorganik pada sampel dibandingkan kedua variasi AOP dengan dosis H₂O₂ lainnya. Lebih rendahnya kedua variasi AOP dengan dosis H₂O₂ 0,3 g/L dan 0,6 g/L menunjukkan bahwa reaksi tidak langsung selama waktu kontak lebih banyak terjadi.

Beltran (2004) menyatakan bahwa proses reaksi tidak langsung merupakan reaksi yang tidak selektif. Proses reaksi inilah yang diinginkan untuk berlangsung selama proses ozonisasi dalam menurunkan kandungan-kandungan berbahaya pada sampel. Sehingga dua dosis H₂O₂ yang terpilih dalam melakukan penelitian selanjutnya dilakukan dengan menggunakan dosis 0,3 g/L dan 0,6 g/L.

3.3 Konsentrasi Sisa Ozon (KSO)

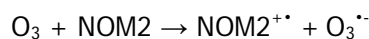
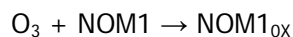
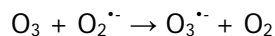
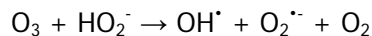
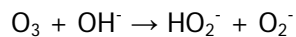
Konsentrasi ozon yang terukur sebenarnya adalah KSO karena ozon merupakan gas yang sangat reaktif. Kereaktifan ozon menyulitkan bagi pengukuran kelarutan ozon di dalam air secara langsung tanpa terjadi reaksi oksidasi dengan senyawa lain yang terdapat di dalam air (Hoigne & Brader, 1983).

Parameter ini merupakan parameter yang penting untuk diukur karena kita dapat mengetahui jenis reaksi yang lebih dominan terjadi antara ozon dengan kandungan organik dan anorganik pada sampel, apakah reaksi langsung yang merupakan reaksi bersifat selektif atau reaksi tidak langsung yang bersifat tidak selektif. Tingginya nilai KSO menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi selama waktu kontak didominasi oleh reaksi langsung karena ozon yang terdekomposisi menjadi OH radikal rendah, sedangkan KSO yang rendah mengindikasikan bahwa reaksi yang terjadi lebih banyak reaksi tidak langsung. KSO pada sampel lindi di ketiga variasi terdapat pada Gambar 2.

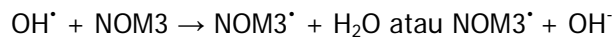


Gambar 2. Konsentrasi Sisa Ozon terhadap Waktu Kontak pada 3 Variasi

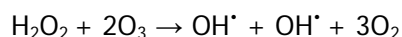
Secara keseluruhan, pada setiap variasi menunjukkan peningkatan KSO selama waktu kontak. Penyebab utama meningkatnya KSO yang terukur disebabkan pengaliran gas ozon yang dilakukan secara terus menerus ke sampel didalam ozon kontaktor. Berkurangnya pemanfaatan ozon dalam sampel menyebabkan KSO yang terukur semakin banyak. Hal tersebut mengindikasikan proses oksidasi berlangsung dengan baik, karena ozon di dalam sampel semakin menurun penggunaannya dalam mengoksidasi kandungan organik yang semakin berkurang. Berdasarkan Gambar 2 di atas variasi AOP memiliki KSO lebih rendah jika dibandingkan dengan variasi ozonisasi konvensional. Hal ini dapat disebabkan karena dekomposisi ozon lebih cepat terjadi pada saat AOP. Pada ozonisasi konvensional, inisiator yang berperan dalam mendekomposisi ozon menjadi OH radikal adalah ion hidroksida dan organik, yang dapat dilihat pada reaksi di bawah ini (Von Gunten, 2003).



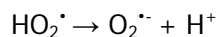
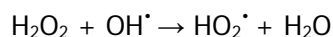
Promotor pada variasi ozonisasi konvensional hanya dipengaruhi oleh kandungan organiknya, yang dapat dilihat pada reaksi di bawah ini (Von Gunten, 2003).



Sedangkan pada variasi AOP, inisiator yang berperan sama halnya dengan variasi ozonisasi konvensional dan dilengkapi dengan peran H_2O_2 (Glaze et al., 1987; Glae dan Kang, 1990 dalam Tchobanoglous, 2003).



Sedangkan untuk promotor, selain oleh organik dekomposisi ozon juga dipercepat dengan H₂O₂. Reaksi propagasi oleh H₂O₂, yaitu:



Adanya peran H₂O₂ baik sebagai inisiator maupun promotor memicu pembentukan OH radikal lebih cepat sehingga KSO yang terukur lebih rendah. Kondisi terbaik ditunjukkan pada variasi AOP dengan dosis H₂O₂ 0,3 g/L yang memperlihatkan KSO terendah sehingga diduga dekomposisi ozon berlangsung secara optimum pada dosis tersebut.

4. KESIMPULAN

Karakteristik lindi TPA paripurna Leuwigajah telah menunjukkan hasil yang cukup baik, dilihat dari parameter pH, alkalinitas, organik aromatik, COD, dan BOD. Hal ini disebabkan telah lamanya TPA tersebut ditutup dari kegiatan pengolahan sampah. Performansi pengolahan menggunakan ozon mampu menurunkan parameter-parameter tersebut mencapai nilai yang lebih rendah.

Pada penelitian ini, pengolahan lindi TPA Paripurna Leuwigajah menggunakan proses ozonisasi konvensional dan AOP dengan 2 variasi dosis H₂O₂, yaitu 0,3 g/L dan 0,6 g/L. Dimana penentuan variasi dosis H₂O₂ melalui penelitian pendahuluan terlebih dahulu.

Berdasarkan hasil penelitian, variasi ozonisasi konvensional menunjukkan nilai KSO yang lebih tinggi dibandingkan AOP. Hal ini menunjukkan pada variasi ozonisasi konvensional, reaksi langsung lebih dominan terjadi dimana reaksi ini bersifat selektif. Sedangkan pada variasi AOP dengan dosis H₂O₂ 0,3 g/L menunjukkan nilai KSO terendah, sehingga mengindikasikan reaksi tidak langsung oleh OH radikal lebih dominan terjadi dalam mendegradasi kandungan organik dan anorganik dalam sampel. Lebih rendahnya nilai KSO pada variasi AOP menunjukkan bahwa memang terjadi proses dekomposisi ozon yang lebih optimal pada variasi tersebut selama proses ozonisasi berlangsung karena adanya peran H₂O₂ sebagai inisiator dan promotor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Dirjen DIKTI yang telah mendukung penelitian melalui Hibah Bersaing.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Pengelolaan Sampah Regional. (2013). Data Hasil Kualitas Air Limbah (Air Leachate Leuwigajah). Dinas Permukiman dan Perumahan.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). SNI 06-6989.23-2005: Air dan Limbah-Uji Suhu dengan Termometer.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.11-2004: Air dan Limbah-Uji Derajat Keasaman (pH) dengan alat pH meter.

- Badan Standarisasi Nasional. (2009). SNI 6989.72-2009: Air dan Limbah-Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD).
- Damanhuri, E. 2008. *Diktat Landfilling Limbah* ITB.
- Hoigne, J dan Brader, H. (1983)Rate Constants of Reaction of Ozone with Organic and Inorganic Compunds in Water. Dissociating Organic Compounds. *Water Research*.
- Krisnawati, Amalia. 2014. *Penurunan Konsentrasi COD pada Lindi dengan Adnanced Oxidation Process (AOP) Berbasis Ozon* . Bandung : ITENAS.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirrasouyan, F., & Moulin, P. (2007). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *ScienceDirect*.
- Soemirat, Juli. (1996). *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University.
- Standard Methods for Examination Water and Wastewater. (1995). American Public Health.*
- Tchnobanoglous, G., Bourton, F. L., & Stensel, H. D. 2003. Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse* (4 ed). Hongkong: McGraw-Hill Company, Inc.
- Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L., & Ghrabi, A. (2007). Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide system. *Journal of Hazardous Materials*.
- Von, G. U. (2003). Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Research, 37 (7)*, 1443-1467.