

Identifikasi Konsentrasi Sisa Ozon pada Proses Ozonisasi Konvensional dan *Advanced Oxidation Process* (AOP) Tipe Ozon/H₂O₂ untuk Pengolahan Lindi Dari TPA Aktif

WULAN NURIANA, M. RANGGA SURURI, SITI AINUN

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung
Email : wnuriana@gmail.com

ABSTRAK

Karakteristik lindi dapat memberikan pengaruh terhadap kelarutan ozon. Prinsip pengukuran ozon terdiri atas dua metode, yaitu secara langsung dengan metode spektrofotometri dan tidak langsung melalui pengukuran oksigen terlarut. Pada penelitian ini menggunakan pengukuran ozon secara tidak langsung. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi konsentrasi sisa ozon pada proses ozonisasi konvensional maupun Advanced Oxidation Process (AOP) menggunakan ozon dengan penambahan H₂O₂ yang dilakukan pada lindi TPA yang berumur kurang dari 10 tahun. Penelitian ini menggunakan reaktor semi batch bervolume 1,5 Liter. Pengambilan data konsentrasi sisa ozon selama penelitian dilakukan melalui pengukuran oksigen terlarut pada setiap interval waktu 30 menit selama 180 menit. Variasi yang digunakan adalah ozonisasi konvensional dan penambahan H₂O₂ sebanyak 1,197 g/L dan 1,796 g/L. Nilai koefisien transfer total (K_La) didapatkan melalui pengukuran oksigen terlarut. K_La pada ketiga variasi relatif sama berkisar pada 0,0014–0,0018.

Kata kunci: Lindi, TPA Sarimukti, ozonisasi, AOP, K_La.

ABSTRACT

Characteristic of leachate can give effect to the ozone solubility. Ozone measurement principle consists of two methods, which directly by spectrophotometric method and indirectly through the measurement of dissolved oxygen. In this study uses ozone measurements indirectly. This study aims to identify the concentration of ozone in conventional ozonation system and Advanced Oxidation Process (AOP) using ozone with the addition of H₂O₂ were performed on landfill leachate that aged less than 10 years. This research using the semi batch technique with 1,5 Liter. Data retrieval of ozone during the research conducted through the measurement of dissolved oxygen at each time interval of 30 minutes for 180 minutes. Variation used is the conventional ozonation and addition of H₂O₂ as much as 1.197 g/L and 1.796 g/L. The value of total transfer coefficient (K_La) obtained through the measurement of dissolved oxygen. K_La in the third variation on the same relative range from 0.0014 to 0.0018.

Keywords: Leachate, Sarimukti landfill, ozonation, AOP, K_La.

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) tahun 2007 tentang kondisi TPA di Indonesia, sebagian besar merupakan tempat penimbunan sampah terbuka (*opendumping*) sehingga menimbulkan masalah pencemaran pada lingkungan. Beberapa permasalahan yang sudah timbul terkait dengan operasional TPA yaitu pertumbuhan vektor penyakit, pencemaran udara, pandangan tak sedap dan bau tak sedap, asap pembakaran, pencemaran lindi, kebisingan dan dampak sosial (Damanhuri, 1995).

TPA Sarimukti memiliki luas 25,2 Ha yang terdiri dari 21,2 Ha milik Perum Perhutani dan 4 Ha milik Kota Bandung dan Kota Cimahi, digunakan sejak tanggal 28 Mei 2006 untuk menampung sampah dari Kota Bandung, Kota Cimahi dan Kabupaten Bandung Barat. TPA Sarimukti pada awalnya sebagai TPA untuk penanggulangan darurat sampah sebagai solusi krisis pengelolaan sampah sejak longsohnya TPA Leuwigajah tanggal 21 Februari 2005 (BPSR, 2013).

Sampah yang dibuang ke *landfill* mengalami beberapa perubahan fisik, kimia dan biologis secara simultan yang diantaranya menghasilkan cairan yang disebut lindi. Lindi diproduksi ketika cairan melakukan kontak dengan sampah yang terutama berasal dari sampah domestik, dimana hal tersebut tidak dapat dihindari pada lahan pemrosesan akhir. Lindi dihasilkan dari infiltrasi air hujan ke dalam tumpukan sampah di TPA dan dari cairan yang terdapat di dalam sampah itu sendiri. Apabila tidak terkontrol, *landfill* yang dipenuhi air lindi dapat mencemari air bawah tanah dan air permukaan (Tchobanoglous, 2003).

Teknik yang umumnya digunakan untuk mengolah lindi di Indonesia adalah kolam stabilisasi (Damanhuri, 2009), teknik ini memiliki kelemahan diantaranya adalah waktu detensi yang dibutuhkan cukup lama, sehingga lahan yang dibutuhkan cukup luas, sementara lahan susah untuk didapatkan terutama di daerah perkotaan. Karakter Lindi akan berubah sesuai dengan umur timbulan sampah, sehingga proses pengolahan harus menyesuaikan dengan karakter lindi tersebut. Kebanyakan pengolahan lindi di Indonesia menggunakan sistem biologi baik secara aerob maupun anaerob.

Penelitian mengenai lindi dengan karakteristik lindi yang ada di Indonesia diperlukan, karena lindi merupakan zat pencemar yang sangat berbahaya, karakteristiknya yang mengandung kadar organik yang tinggi, bahkan tidak jarang juga mengandung kadar logam berat. Setelah lindi terbentuk dan mengalir keluar *landfill* lindi dapat menyebabkan pencemaran yang serius baik ke air tanah maupun ke badan air permukaan (Tchobanoglous, 2003).

Proses pengolahan lindi yang diterapkan semakin dituntut untuk memenuhi baku mutu yang semakin ketat, serta waktu pengolahan yang singkat, sehingga diperlukan upaya penelitian yang dimulai dari skala laboratorium untuk mengolah lindi dengan teknik ozonisasi dan AOP berbasis ozon. Lebih jauh lagi, Lindi merupakan limbah yang sulit untuk secara langsung diolah secara biologi (Cortez et al, 2010).

Tingginya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) seharusnya diolah dengan cara kimiawi. Salah satunya yaitu dengan cara oksidasi. Oksidasi untuk pengolahan limbah dapat dilakukan dengan ozon karena ozon memiliki kemampuan mengoksidasi yang besar. Proses pengolahan limbah dengan menggunakan ozon ini disebut ozonisasi. Proses ozonisasi dalam air dapat menghasilkan oksidator yang sangat kuat jika ozon terdekomposisi menjadi OH radikal (OH[•]).

Alasan utama penggunaan ozon adalah kegunaannya untuk oksidasi (menyisihkan rasa dan bau). Oksidasi dapat dicapai secara simultan jika reaksi dilakukan oleh ozon, namun jika terdapat bahan yang resisten terhadap ozon maka ozon akan bertransformasi menjadi OH[•] (Von Gunten, 2003). Inisiasi dekomposisi ozon menjadi OH[•] dapat dilakukan oleh ion hidroksida dimana pH menjadi parameter penting dalam reaksi tersebut (Von Gunten, 2003).

Proses ozonisasi yang disertai penambahan H₂O₂ akan menghasilkan proses dimana OH[•] akan lebih dominan dibandingkan dengan ozon itu sendiri, sehingga daya oksidasi dari proses tersebut semakin baik, proses ini dikenal sebagai *Advance Oxidation Process* atau biasa disebut AOP (von Gunten, 2003). Pada pengolahan lindi, proses O₃/ H₂O₂ diharapkan akan mengoksidasi bahan organik, menjadi bahan organik dengan berat molekul yang lebih rendah dan lebih memungkinkan untuk didegradasi secara biologi (Tizaoui, 2007).

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran Badan Pengelolaan Sampah Regional (BPSR) pada bulan April 2014, nilai rasio BOD/COD di TPA Sarimukti sebesar 0,130. Ketika rasio BOD/COD besar maka pengolahan yang tepat yaitu dengan cara biologi, sebaliknya, jika rasio BOD/COD kecil maka pengolahan sebaiknya dengan cara kimia. Rasio BOD/COD TPA Sarimukti sangat kecil sehingga pengolahan biologi yang dilakukan dapat menjadi kurang efektif. Hal ini yang membuat penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan.

Karakteristik lindi dapat memberikan pengaruh terhadap kelarutan ozon. Prinsip pengukuran ozon terdiri atas dua metode, yaitu secara langsung dengan metode spektrofotometri dan tidak langsung melalui pengukuran oksigen terlarut. Penelitian menggunakan pengukuran ozon secara tidak langsung melalui pengukuran oksigen terlarut.

Penelitian ini bermaksud untuk mengidentifikasi konsentrasi sisa ozon pada proses ozonisasi konvensional maupun *Advanced Oxidation Process* (AOP) menggunakan ozon dengan penambahan H₂O₂ yang dilakukan pada lindi TPA Sarimukti sehingga dapat diketahui apakah proses ozonisasi dapat membantu proses pengolahan lindi selanjutnya.

2. METODOLOGI

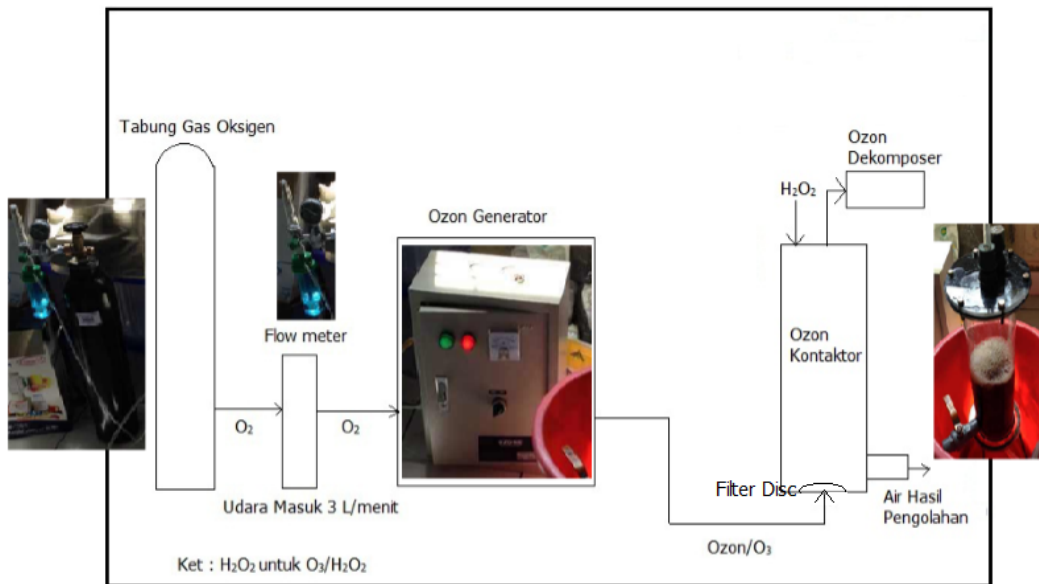
2.1 Studi Literatur

Tahap awal yang dilakukan adalah studi literatur diperlukan untuk mendukung dan memahami rumusan teoritis yang diperlukan pada penelitian ini. Studi literatur dilakukan terhadap berbagai literatur, hasil penelitian terdahulu dan jurnal/karya ilmiah yang berkaitan dengan ozonisasi konvensional maupun AOP.

2.2 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian terdiri dari persiapan peralatan dan persiapan bahan. Persiapan peralatan meliputi persiapan peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu peralatan analisis laboratorium untuk mengukur karakteristik lindi dan alat untuk proses ozonisasi berupa tabung oksigen 1 m³ untuk mensuplai oksigen murni ke generator ozon, pengukur laju aliran udara (*flowmeter*) untuk mengatur udara yang akan dimasukkan ke generator ozon dengan debit 3 L/menit, generator ozon digunakan untuk mengubah oksigen menjadi ozon, serta ozon kontraktor sebagai wadah ozon dikontakkan dengan sampel lindi yang akan diolah memiliki volume 1,5 Liter yang dilengkapi dengan katup (*valve*) untuk pengambilan sampel.

Skema penelitian ozonisasi konvensional dan AOP tipe ozon/H₂O₂ dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Konfigurasi Reaktor Penelitian

Persiapan bahan meliputi persiapan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bahan untuk analisis laboratorium untuk pengukuran karakteristik lindi dan bahan yang digunakan untuk ozonisasi sampel lindi yang berupa Hidrogen Peroksida (H₂O₂) 50%; untuk pengukuran alkalinitas menggunakan larutan HCl 1 N dan larutan NaOH 0,1 N; untuk pengukuran COD menggunakan larutan *digest solution*, larutan pereaksi asam (Ag₂SO₄) dan larutan FAS; serta untuk pengukuran *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) menggunakan larutan air pengencer yang terdiri dari larutan buffer fosfat, larutan magnesium sulfat (MgSO₄), larutan kalsium klorida (CaCl₂) dan larutan Feri Klorida (FeCl₃).

2.3 Pengukuran Kualitas Sampel Lindi

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah lindi yang berasal dari TPA Sarimukti yang berlokasi di Kampung Cigedig, Desa Sarimukti, Kecamatan Cipatat, Kabupaten Bandung Barat. Pengambilan sampel dilakukan secara sesaat (*grab sample*). Sampel lindi diuji di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan Itenas dan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Pemeriksaan parameter pH, alkalinitas, kekeruhan, Daya Hantar Listrik (DHL), *Dissolved Oxygen* (DO), BOD dan COD dilakukan di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan Itenas. Pemeriksaan parameter bahan organik aromatik dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Lokasi pengambilan sampel lindi dapat dilihat pada

Gambar 2. Proses pengukuran dilakukan secara langsung ditempat untuk parameter pH, temperatur dan DO.



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel

Metode yang digunakan untuk pemeriksaan karakteristik sampel lindi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Metode Pemeriksaan Karakteristik Sampel

No	Parameter	Metode Pengukuran Karakteristik Air	Alat	Sumber
1	pH	-	pH meter	SNI 06.6989.11-2004
2	DO	Elektrokimia	DO meter	SNI 06-6989.14-2004
3	suhu	-	Termometer	SNI 06-6989.23-2005
4	DHL	<i>Conductivity</i> metri	<i>Conductivity</i> meter	SNI 06-6989.1-2004
5	Kekeruhan	Turbidimetri Helliege	Turbidimeter Helliege	SNI 06-6989.25-2005
6	Alkalinitas: Karbonat Bikarbonat	Titration Asam-Basa	-	SNI 06-2422-1991
7	BOD	Elektrometri	DO meter	SNI 6989.72-2009
8	COD	Titration reflux tertutup	-	<i>SMEWW 5220 C</i>
9	Organik Aromatik	<i>Ultraviolet Absorption Method</i>	spektrofotometer	<i>SMEWW 5910</i>

Sumber: *Standard Methods 21th Edition* dan SNI

2.4 Ozonisasi

Sistem yang digunakan pada ozonisasi konvensional dan AOP adalah *semi batch*, dengan prinsip kerja memompakan oksigen murni ke dalam generator ozon menggunakan tabung oksigen 1 m³ dengan debit yang dipompakan 3 L/menit. Sehingga menghasilkan ozon dalam fasa gas, kemudian dikontakkan secara kontinyu ke dalam ozon kontaktor *batch* yang berisi sampel lindi sehingga diperoleh ozon terlarut di dalam sampel.

Pemilihan interval waktu kontak berdasarkan pada penelitian sebelumnya, interval waktu kontak yang digunakan adalah 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Selanjutnya pada variasi AOP tipe O_3/H_2O_2 dilakukan penambahan H_2O_2 ke dalam ozon kontaktor sebesar 1,197 g/L dan 1,796 g/L pada saat awal sebelum ozon generator dioperasikan mengacu pada percobaan pendahuluan yang telah dilakukan untuk mencari dosis optimum H_2O_2 . Penelitian dilakukan terhadap parameter yang telah ditentukan dengan proses ozonisasi konvensional dan variasi AOP tipe O_3/H_2O_2 .

2.5 Pengukuran Transfer Gas (K_La)

Pada penelitian menggunakan pengukuran ozon secara tidak langsung melalui pengukuran oksigen terlarut. Setelah didapatkan konsentrasi oksigen terlarut, maka Nilai Koefisien Transfer Total (K_La) dapat diketahui. Pengukuran transfer gas akan mendapatkan nilai K_La . Nilai K_La dapat ditentukan dengan persamaan II.1 berikut ini (Reynolds, 1996):

$$\ln \{(C_s - C_o) - (C_s - C_t)\} = K_La \cdot t \quad (II.1)$$

Dimana : K_La = Koefisien transfer total, jam^{-1}

C_s = Konsentrasi gas jenuh, mg/L

C_o = Konsentrasi awal oksigen, mg/L

C_t = konsentrasi oksigen dalam interval waktu percobaan, mg/L

Nilai Koefisien Transfer Total (K_La) selama penelitian dilakukan melalui pengukuran oksigen terlarut pada setiap interval waktu 30 menit selama 180 menit menggunakan metode elektrokimia dengan DO meter. Dari data percobaan dengan konsentrasi awal oksigen C_o , Konsentrasi gas jenuh C_s diambil berdasarkan data oksigen terlarut tertinggi dan konsentrasi oksigen dalam interval waktu percobaan C_t , maka dapat diplot $\ln(C_s - C_t)$ vs t , maka diperoleh garis lurus dengan besarnya sudut arah (*slope*) adalah K_La (Reynolds, 1996). Setelah didapatkan garis lurus, maka dapat diketahui persamaan linear sehingga dapat diketahui ($K_La O_2$). Kemudian $K_La O_3$ dapat diketahui dengan menggunakan persamaan II.2 (Rezagama, 2012):

$$K_La O_3 = 0,622 K_La O_2 \quad (II.2)$$

Persamaan II.2 tersebut valid pada kondisi $T=20^\circ\text{C}$. Pada temperatur yang berbeda, dapat digunakan suatu faktor empiris yang sering digunakan dalam perhitungan yaitu faktor theta, Θ .

$$K_La_t = \frac{K_La_{20}}{\Theta^{20-t}} \quad (II.3)$$

K_La_t merupakan K_La pada temperatur tertentu ($^\circ\text{C}$), K_La_{20} merupakan K_La pada 20°C dan Θ merupakan faktor koreksi temperatur yang nilainya 1,024 (Gottschalk, 2000).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Awal Sampel

Karakteristik awal sampel yang diukur antara lain suhu, pH, alkalinitas (karbonat dan bikarbonat), kekeruhan, DHL, BOD, COD dan bahan organik aromatik. Pengambilan sampel lindi dilakukan dalam periode musim kemarau pada bulan Mei–Agustus 2014. Tidak dilakukan pengenceran pada sampel lindi TPA Sarimukti. Hasil pengukuran kualitas sampel lindi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Fisik dan Kimia Sampel Lindi TPA Sarimukti

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	Suhu	24,50	°C
2	pH	8,43	
3	Alkalinitas		
	Karbonat (CO ₃ ²⁻)	1.800,00	mg/L
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	1.708,00	mg/L
4	Kekeruhan	57,80	NTU
5	DHL	490,00	µs/cm
6	BOD	314,04	mg/L
7	COD	4.928,00	mg/L
8	Bahan Organik Aromatik	20,22	Abs

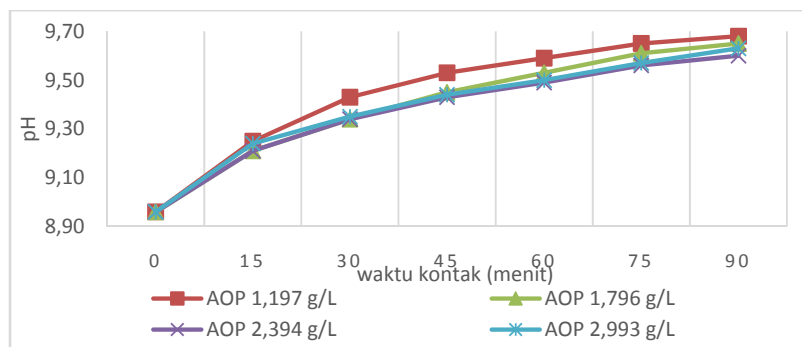
3.2 Dosis Optimum Hidrogen Peroksida (H₂O₂)

Penentuan dosis optimum H₂O₂ dilakukan untuk mengetahui efek penambahan H₂O₂ pada sampel dengan menggunakan parameter respon, yaitu pH dan alkalinitas. Tizaoui (2007) menginformasikan bahwa penambahan H₂O₂ secara terus menerus tidak akan meningkatkan efisiensi, sehingga harus diketahui kadar optimum penambahan H₂O₂ jika akan mengaplikasikan proses ini.

Dalam ozonisasi, pH selalu memberikan efek positif dalam menyisihkan COD. Efek ini dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu kehadiran dari senyawa pemisah yang dapat bereaksi cepat dengan ozon (phenol atau senyawa aromatik) dan dalam konsentrasi tinggi menyebabkan peningkatan dekomposisi ozon menjadi OH^{*} (Beltran, 2004).

Selain pH, alkalinitas juga mempunyai peran penting dalam penentuan dosis H₂O₂. Tingginya nilai alkalinitas dapat menghambat dekomposisi ozon, karena reaksi OH^{*} dan penyebab alkalinitas tidak akan menghasilkan superoksida radikal yang menyebabkan reaksi propagasi tidak akan terbentuk.

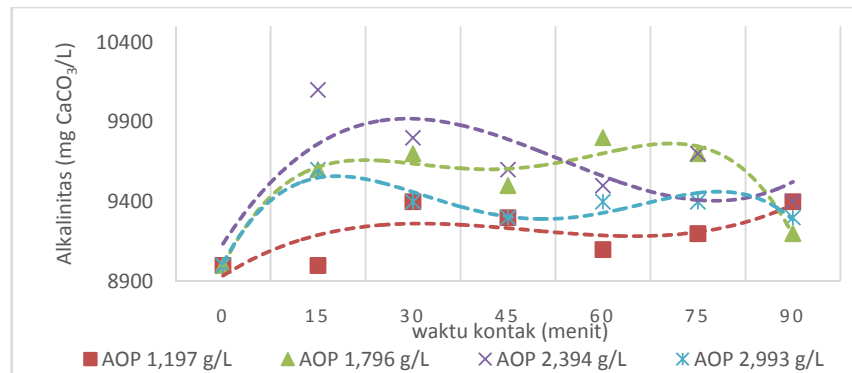
Penentuan dosis dilakukan pada penelitian pendahuluan dengan variasi penambahan H₂O₂ sebanyak 1,197 g/L; 1,796 g/L; 2,394 g/L; dan 2,993 g/L. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa kenaikan nilai pH terdapat pada seluruh variasi, namun kenaikan pH tertinggi terdapat pada variasi AOP O₃/H₂O₂ 1,197 g/L dan AOP O₃/H₂O₂ 1,796 g/L.



Gambar 3. Nilai pH Sampel Pada Percobaan Pendahuluan

Gambar 4 merupakan nilai alkalinitas pada penelitian pendahuluan. Pada gambar tersebut terlihat fluktuasi nilai alkalinitas. Penentuan dosis optimum H₂O₂ dilakukan berdasarkan nilai alkalinitas terendah. Berdasarkan Gambar 4 terdapat 3 nilai alkalinitas terendah pada akhir waktu kontak dan selama proses ozonisasi, yaitu pada variasi penambahan H₂O₂ sebanyak

1,197 g/L; 1,796 g/L dan 2,993 g/L. Berikut ini merupakan nilai alkalinitas sampel pada percobaan pendahuluan.



Gambar 4. Nilai Alkalinitas Sampel Pada Percobaan Pendahuluan

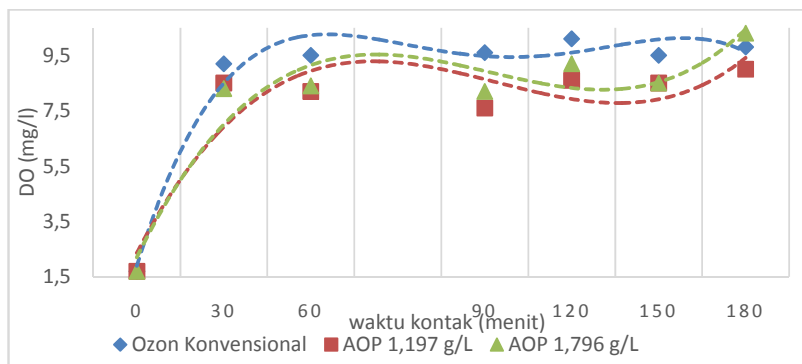
Penentuan dosis optimum juga didukung dengan kenaikan pH tertinggi oleh penambahan H_2O_2 sebanyak 1,197 g/L dan 1,796 g/L. Berdasarkan data tersebut, maka dapat ditentukan variasi penambahan H_2O_2 berdasarkan hasil akhir yaitu sebanyak 1,796 g/L dan berdasarkan nilai alkalinitas terendah selama proses ozonisasi yaitu sebanyak 1,197 g/L. Dengan demikian penentuan dosis optimum telah ditentukan dengan melihat hasil dari penelitian pendahuluan menggunakan parameter pH dan alkalinitas, yaitu AOP O_3/H_2O_2 1,197 g/L dan AOP O_3/H_2O_2 1,796 g/L.

3.3 Proses Transfer Gas dengan Penentuan Nilai Koefisien Transfer Total ($K_L a$) Pada Ozonisasi Konvensional dan AOP dalam Sampel

Penentuan nilai koefisien transfer total ($K_L a$) dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses dekomposisi ozon yang terjadi. Karakteristik sampel seperti yang telah dijelaskan memberikan pengaruh terhadap kelarutan ozon dalam air. Prinsip pengukuran ozon terdiri atas dua metode, yaitu secara langsung dengan metode spektrofotometri dan tidak langsung melalui pengukuran oksigen terlarut (Rezagama, 2012).

Pengukuran ozon secara langsung dengan menggunakan metode spektrofotometri tidak dapat dilakukan pada sampel. Karena lindi memiliki warna hitam yang akan mengganggu proses pembacaan pada spektrofotometri. Teknik pengukuran ozon tidak langsung menurut Danckwert's, 1970 dalam Zhou, 2000 mengemukakan teori perhitungan koefisien perpindahan massa ozon yang dihubungkan dengan koefisien perpindahan massa oksigen secara tidak langsung.

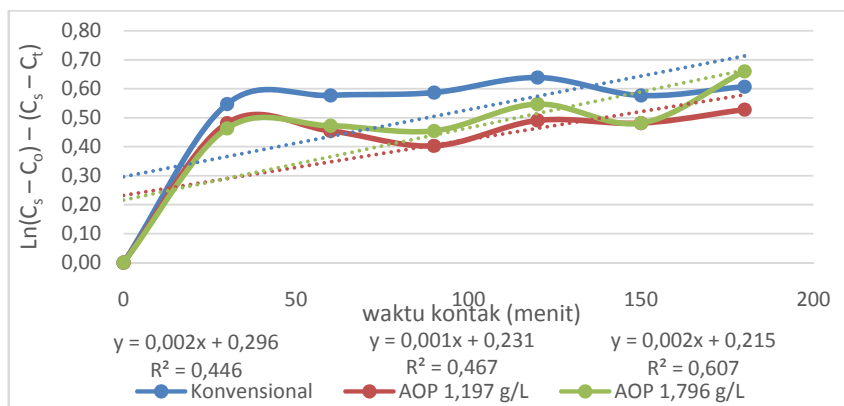
Pengambilan data ozon selama penelitian dilakukan melalui pengukuran oksigen terlarut pada setiap interval waktu 30 menit. Pada Gambar 5 secara keseluruhan konsentrasi oksigen terlarut pada ketiga metode mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu kontak.



Gambar 5. Konsentrasi Oksigen Terlarut

Kenaikan konsentrasi oksigen terlarut ini dapat terjadi karena suplai oksigen dilakukan secara kontinyu, sehingga konsentrasi oksigen terlarut semakin bertambah banyak. Perbedaan konsentrasi oksigen terlarut pada ketiga variasi menunjukkan adanya perbedaan reaksi dengan ozon.

Konsentrasi oksigen terlarut tertinggi selama proses adalah sampel dengan ozon konvensional, namun mengalami penurunan pada akhir waktu kontak. Konsentrasi oksigen terlarut pada AOP O₃/H₂O₂ 1,197 g/L dan AOP O₃/H₂O₂ 1,796 g/L memiliki *trend* yang hampir sama, namun AOP O₃/H₂O₂ 1,796 g/L memiliki konsentrasi oksigen terlarut yang lebih tinggi. Setelah didapatkan nilai konsentrasi oksigen terlarut pada ketiga variasi, maka Nilai Koefisien Transfer Total (K_La) dapat diketahui. Nilai K_La O₂ dihitung dengan menggunakan persamaan II.1



Gambar 6. Nilai Koefisien Transfer Total (K_La)

Dari hasil perhitungan pada persamaan II.1, didapatkan grafik hubungan waktu kontak dengan $\ln(C_s - C_0) - (C_s - C_t)$ pada setiap variasi penelitian. Hal ini berfungsi untuk melihat pengaruh transfer gas K_La pada proses ozonisasi, dapat dilihat pada Gambar 6.

Setelah didapatkan garis lurus, maka dapat diketahui persamaan linear sehingga dapat diketahui (K_La O₂). Kemudian K_La O₃ dapat diketahui dengan menggunakan persamaan II.2. Persamaan II.2 tersebut valid pada kondisi T=20°C. Pada temperatur yang berbeda, dapat digunakan suatu faktor empiris yang sering digunakan dalam perhitungan yaitu faktor theta, Θ terdapat pada persamaan II.3.

Tabel 3 di bawah ini merupakan data hasil perhitungan K_{La} pada setiap variasi.

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan K_{La} Pada Setiap Variasi

Variasi	Persamaan	$K_{La} O_2$	$K_{La} O_3$
Ozon konvensional	$y = 0,0023x + 0,2965$	0,0023	0,0017
AOP 1,197 g/L	$y = 0,0019x + 0,2319$	0,0019	0,0014
AOP 1,796 g/L	$y = 0,0025x + 0,2157$	0,0025	0,0018

Pada tabel 3, terdapat perbedaan nilai $K_{La} O_2$ dan $K_{La} O_3$. Nilai $K_{La} O_2$ lebih besar pada ketiga variasi $K_{La} O_3$, hal ini disebabkan karena sifat oksigen memiliki kereaktifan yang lebih rendah dengan hidroksil maupun bahan organik sehingga nilai oksigen terlarut menjadi lebih tinggi (Rezagama, 2012).

Berdasarkan data di atas diperoleh nilai K_{La} pada setiap variasi. Nilai koefisien transfer total ($K_{La} O_3$) pada ketiga variasi relatif sama berkisar pada 0,0014–0,0018. Nilai $K_{La} O_3$ tinggi merupakan reaksi langsung oleh ozon itu sendiri. Nilai $K_{La} O_3$ rendah terjadi akibat dari penambahan H_2O_2 sehingga ozon yang terukur lebih sedikit karena ozon sudah terdekomposisi menjadi OH^\bullet yang menandakan terjadinya reaksi tidak langsung.

Pada variasi ozon konvensional $K_{La} O_3 = 0,0017$; pada variasi AOP O_3/H_2O_2 1,197 g/L- $K_{La} O_3 = 0,0014$; serta pada variasi AOP O_3/H_2O_2 1,796 g/L- $K_{La} O_3 = 0,0018$. Perbedaan pola nilai K_{La} pada ketiga variasi ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu sifat fisik gas dan cairan yang digunakan, serta dekomposisi ozon. Gas yang digunakan adalah ozon yang bersifat reaktif dan tidak stabil serta cairannya adalah lindi. Seperti yang telah diketahui bahwa ozon lebih mudah larut 10 kali dibandingkan dengan oksigen, namun jumlah aktual yang dapat beroperasi dalam kondisi larut sangatlah kecil (Donald, 1975).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kombinasi AOP menggunakan ozon dengan penambahan H_2O_2 1,197 g/L merupakan variasi yang paling efektif untuk proses dekomposisi ozon menjadi OH^\bullet yang terjadi dalam pengolahan lindi TPA Sarimukti. Pernyataan tersebut dibuktikan dengan nilai koefisien transfer total terendah terdapat pada variasi AOP O_3/H_2O_2 1,197 g/L sebesar 0,0014.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini melalui program hibah bersaing.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th ed. American Public Health Association: Washington, DC.
- Balai Pengelolaan Sampah Regional (BPSR). 2014. TPPAS Regional Sarimukti.
- Beltran, Fernando J. 2004. *Ozone reaction kinetics for water and wastewater systems*. Florida: Lewis Publishers.

- Cortez, Susana., Teixeira, Pilar., Oliveira, Rosario., & Mota, Manuel. 2011. Evaluation of fenton and ozone-based advanced oxidation processes as mature landfill leachate pre-treatments. *Journal of Environmental Management* 92 (2011) 749-755.
- Damanhuri, E. 2008. Diktat Landfilling Limbah. Institut Teknologi Bandung
- Donald Johnson, J. 1975. *Desinfection water and wastewater*. Ann Arbor Science.
- Gottschalk, C. J. A.Libra, A. Saupe, 2000. Ozonation Of Water and Wastewater. *A Practical Grade to Understanding Ozone and its applications*.Wiley–VCH, Weinheim.
- Reynolds, Tom D. & P. A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Boston, USA: International Thomson Publishing.
- Rezagama, A., & Notodarmojo, S. 2012. *Kinetika Transfer Ozon dan Tren Kekeuhan dalam Air Lindi dengan Pengolahan Ozonisasi*. Bandung:ITB
- SNI 6989.72-2009. 2009. *Air dan Air Limbah-Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 06-6989.14-2004. 2004. *Metode Pengujian Oksigen Terlarut dalam Air dengan Elektrokimia*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 06.6989.11-2004. 2004. *Metode Pengujian pH dengan pH meter*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 06-6989.23-2005. 2005. *Metode Pengujian suhu dengan Termometer*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 06-6989.1-2004. 2004. *Metode Pengujian Daya Hantar Listrik dengan Conductivity meter*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 06-6989.25-2005. 2005. *Metode Pengujian kekeuhan dengan turbidimeter Helliege*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 06-2422-1991. 1991. *Metode Pengujian Alkalinitas dengan Titrasi Asam-Basa*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. 2003. *Water and Wastewater Engineering*. Metcalf & Eddy, 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 Gunten, U. 2003. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water research*, 37 (7), 1443-1467