

PENGOLAHAN LINDI DENGAN PROSES OKSIDASI LANJUT BERBASIS OZON

Mohamad Rangga Sururi^{*)}, Siti Ainun, dan Amalia Krisna

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional
Jl. PKH Mustopha no.23, Bandung 40124, (022)7272215

^{*)}Penulis korespondensi : rangsoer@yahoo.com

Abstract

LEACHATE TREATMENT USING ADVANCE OXIDATION PROCESS BY OZONE.

Landfilling technique gives negative impact due to its leachate formation. Leachate treatment in Indonesia is insignificant because being dominated with biological system. This research aim is to find the effectivity of ozon process and its advance oxidation. Leachate sample came from the inlet of the installation from Sarimukti Landfill which is being diluted 10 times. The variation consists of O_3 , O_3/H_2O_2 0.6 gr/L and O_3/UV . The process runs for 3 hours with sampling every 30 minutes. The result shows that the leachate have ratio of BOD/COD of 0.2. DHL values for three variations are decreasing with the same range of 8-11%. The highest efficiency removal came from the combination of O_3/H_2O_2 0.6gr/L. Meanwhile the highest COD removal efficiency comes from O_3/H_2O_2 28.9%. The exallation of BOD is given by variation of O_3 and O_3/UV which can be indicates that the process has been successfully to increase the biodegradability of leachate. The H_2O_2 addition and UV exposure plays as an initiator to the decomposition of ozone which formed the $OH\cdot$ as the highest oxidator in water to enhance the better oxidation process. Meanwhile the complexity of leachate needs to be investigated further to shows its composition of organic compounds.

Keywords: *advance oxidation process; leachate; OH radical; ozone decomposition rate; removal efficiency*

Abstrak

Dampak negatif TPA adalah timbulnya lindi dengan karakteristik yang kompleks. Pengolah lindi yang banyak digunakan di Indonesia adalah pengolahan biologi. Tujuan penelitian ini untuk mencari efektivitas teknik oksidasi dengan O_3 dan oksidasi lanjut berupa O_3/H_2O_2 0,6 gr/L, serta O_3/UV . Sample lindi diambil dari inlet instalasi pengolah lindi TPA Sarimukti dengan pengenceran 10 kali. Reaktor dioperasikan selama 3 jam dengan interval per 30 menit. Hasil karakterisasi sampel memperlihatkan bahwa lindi memiliki nilai BOD/COD 0,2. Nilai DHL pada setiap perlakuan menunjukkan tingkat penurunan 8-11%. Tingkat penurunan terbesar yaitu pada proses O_3/H_2O_2 . Untuk penyisihan terhadap COD ketiga variasi memberikan trend yang sama. Efisiensi penyisihan COD tertinggi sebesar 28,9% adalah pada O_3/H_2O_2 . Peningkatan BOD untuk O_3 dan O_3/UV memberikan hasil yang relatif sama sehingga disimpulkan bahwa proses yang dilakukan sudah berhasil dalam meningkatkan biodegradabilitas lindi. Berdasarkan hasil konsentrasi sisa ozon, pengukuran DHL dan penyisihan COD, maka disimpulkan bahwa variasi O_3/H_2O_2 memberikan hasil yang lebih baik. Penambahan H_2O_2 dan pemaparan sinar UV merupakan inisiator pada reaksi dekomposisi ozon sehingga terbentuk $OH\cdot$ yang merupakan bahan dengan daya oksidasi terbesar dalam air sehingga bisa meningkatkan proses oksidasi yang lebih baik. Karakteristik lindi yang kompleks menyebabkan diperlukan penelitian yang lebih dalam terkait dengan komposisi senyawa organik.

Kata kunci: *teknik oksidasi lanjutan; lindi; radikal OH; laju dekomposisi ozon; efisiensi penyisihan*

How to Cite This Article: Sururi, M.R., Ainun, S., dan Krisna, A., (2014) Pengolahan Lindi dengan Proses Oksidasi Lanjut Berbasis Ozon, Reaktor, 15(1), 20-26, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.15.1.20-26>

PENDAHULUAN

Teknik pengurangan (*landfilling*) merupakan teknik pengolahan akhir sampah yang biasa digunakan

di Indonesia, bahkan di dunia. Teknik pengurangan telah dibangun sebanyak 150.000 di seluruh dunia (Kurniawan dkk., 2006). Menurut AMPL (2008),

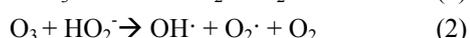
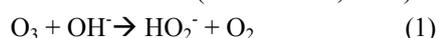
salah satu isu utama bidang persampahan di Indonesia adalah menurunnya kualitas manajemen di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPAS), dimana TPAS yang didesain dengan *sanitary landfill* dan *control landfill* pada prakteknya menjadi *open dumping*.

Dampak negatif dari sistem pengurugan adalah timbulnya lindi akibat dari proses dekomposisi materi sampah dan air eksternal yang masuk ke dalam timbunan sampah. Lindi mengandung bahan organik baik yang *biodegradable* ataupun *non biodegradable*, mengandung ammonia, logam berat, bahkan berdasarkan tes toksikologi, lindi merupakan bahan yang berbahaya bagi kesehatan (Renou dkk., 2008).

Permasalahan lindi di Indonesia menjadi semakin kompleks dan menimbulkan permasalahan sosial, akibat penanganannya yang tidak tepat. Kondisi ini diperparah dengan diterapkannya sistem pengurugan *open dumping* yang dapat menyebabkan kuantitas lindi semakin besar. Menurut statistika persampahan tahun 2008, hanya 42% TPAS di Indonesia yang memiliki fasilitas pengolahan lindi yang berfungsi dengan baik, dan pada umumnya sistem pengolahan yang masih berfungsi adalah sistem pengolahan fisik-kimia, sementara pengolahan biologi yang masih berfungsi hanya 2% (Kementerian Lingkungan Hidup, 2008).

Pengolah lindi yang banyak digunakan di Indonesia hingga saat ini adalah kontak stabilisasi, yang dipilih berdasarkan kesederhanaan serta iklim tropis yang cukup panas. Salah satu kekurangan dari pengolahan biologi yaitu membutuhkan lahan yang luas (Wu dkk., 2004). Lebih lanjut, karakter lindi akan berubah sesuai dengan umur timbunan sampah, sehingga proses pengolahan harus menyesuaikan dengan perubahan karakter lindi tersebut. Lindi merupakan limbah yang sulit untuk secara langsung diolah secara biologi (Cortez dkk., 2010; Mahmud dkk., 2012).

Teknik oksidasi lanjut merupakan teknik yang dapat diterapkan untuk menyisihkan warna, mengurangi kandungan bahan organik, serta merubah lindi menjadi lebih mudah didegradasi (Renou dkk., 2008). Ozon merupakan salah satu oksidator yang kuat memiliki nilai E^0 sebesar 2,07 Volt, bahkan ozon akan terdekomposisi menjadi OH^\cdot yang merupakan oksidator terkuat di dalam air dengan nilai E^0 sebesar 2,8 Volt. Proses ozonisasi maupun proses oksidasi lanjut dengan mempercepat dekomposisi ozon menjadi OH^\cdot , merupakan salah satu upaya yang dianggap akan efektif untuk mengolah lindi. Adapun reaksi dekomposisi ozon adalah (Von Gunten, 2003):



Pada penelitian ini akan diteliti dan dibandingkan penyisihan lindi dengan teknik ozonisasi konvensional dan oksidasi lanjut (AOP) berupa $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, serta O_3/UV . Sampel lindi berasal dari tumpukan sampah yang muda, tepatnya dari TPA

Sarimukti Bandung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk identifikasi pengaruh karakteristik lindi, mengetahui respon sampel lindi ketika proses berlangsung serta efektifitas proses ozonisasi konvensional dan AOP berbasis ozon melalui parameter kunci berupa BOD, COD, Daya Hantar Listrik (DHL) serta *Total Organic Carbon* (TOC).

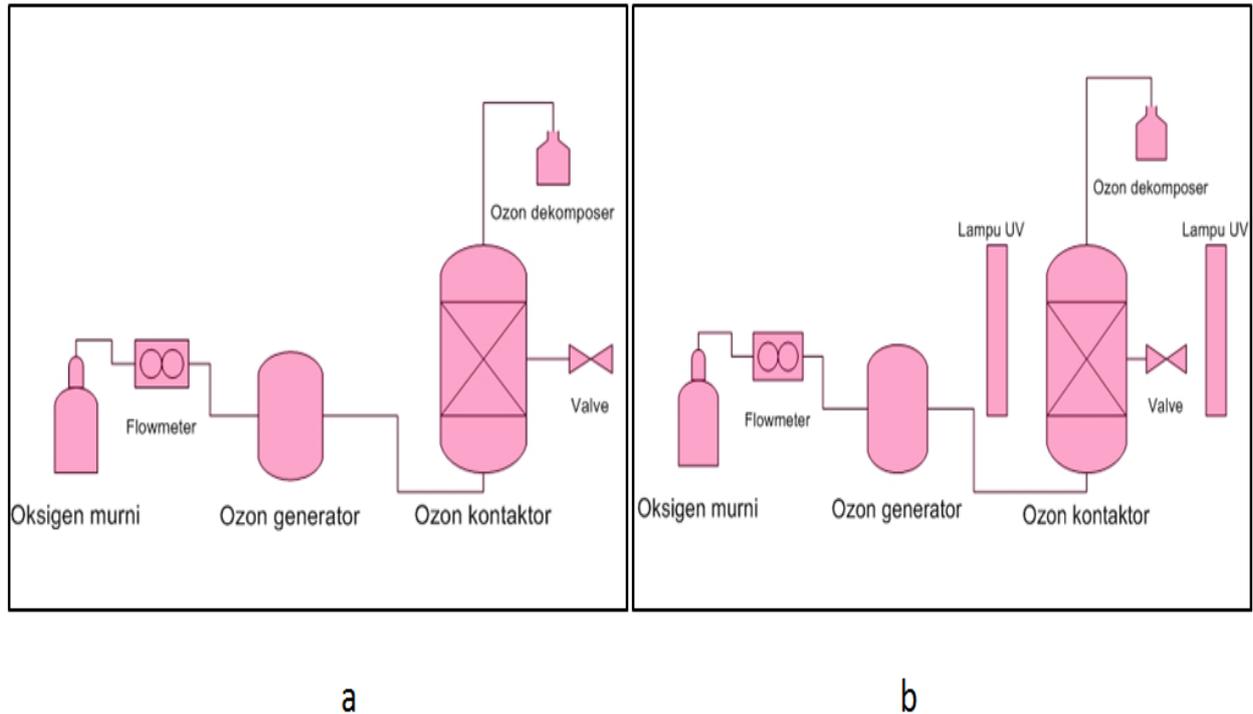
METODE PENELITIAN

Sampel berasal dari TPAS Sarimukti yang terletak di Kecamatan Cipatat Kabupaten Bandung Barat, memiliki luas 25,2 Ha serta memproses sampah sebanyak 1.200 ton/hari. TPAS ini melayani sebagian besar sampah dari Cekungan Bandung, terutama wilayah Kota Bandung, Kota Cimahi dan Kabupaten Bandung Barat. Sampel lindi yang digunakan berasal dari Inlet unit pengolahan lindi TPAS Sarimukti. Sebelum diteliti sampel tersebut terlebih dahulu diencerkan sebanyak 10 kali.

Penelitian akan dilakukan secara semi batch, dimana suplai gas ozon akan dilakukan secara menerus ke kontaktor batch yang berisi lindi sebanyak 1 liter. Percobaan *semi batch* akan memberikan informasi mengenai titik kritis penurunan konsentrasi dengan gradien terbesar, sebelum mengalami kelandaian (Fernando, 1995). Rangkaian alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah tabung oksigen dengan kapasitas 1 m³, yang akan mengalirkan O₂ dengan debit sebesar 3 L/menit ke ozon generator. Oksigen akan dirubah menjadi ozon pada ozon generator tipe OZF-1G, dengan daya 200 W dan tegangan 220 Volt. Selanjutnya, ozon pada fase gas akan dilarutkan pada ozon kontaktor, dimana sampel disimpan sebanyak 1 liter. Ozon kontaktor dilengkapi *filter disc* dengan diameter pori 60-100 μm. Ozon kontaktor juga dilengkapi dengan *valve* yang berguna untuk pengambilan sampel air setiap 30 menit selama 180 menit. Ozon yang masih tersisa pada fase gas akan diuraikan pada ozon dekomposer yang berisi larutan KI.

Pada proses AOP dengan $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, maka pada kontaktor akan ditambahkan H_2O_2 sebanyak 0,6 gr/L, sementara pada proses AOP dengan O_3/UV akan dipaparkan sinar UV yang berasal dari lampu UV C berdaya 15 watt yang memiliki panjang gelombang kurang dari 280 nm. Lampu ini berfungsi untuk mempercepat pembentukan OH^\cdot dalam air. Jarak sinar lampu UV dengan kontaktor yaitu sebesar 10 cm. Skema rangkaian alat penelitian ditampilkan pada Gambar 1.

Pengukuran konsentrasi sisa ozon pada fase cair dilakukan berdasarkan standard metode 4500-O₃, yaitu dengan metode *Indigo Calorimetric Methode* (ICM). Pemeriksaan TOC dilakukan di Laboratorium air PDAM Kota Bandung dan hanya dilakukan pada sampel awal dan pada titik kritis ketika efisiensi pengolahan tercapai pada proses ozonisasi konvensional.



Gambar1. Skema alat yang digunakan (a) O₃/H₂O₂; (b) O₃/UV

Tabel 1. Kerangka penelitian

Parameter Variasi	Kondisi
Ozonisasi konvensional	Proses ozonisasi dilakukan tanpa penambahan perlakuan apapun
AOP O ₃ /H ₂ O ₂	Penambahan H ₂ O ₂ sebanyak 0,6 gr/L
AOP O ₃ /UV	Pemaparan lampu UV pada kontaktor dengan jarak 10 cm
Parameter Tetap	Kondisi
Reaktor	Semi Batch
Volume sampel	1 L
Debit Gas	3 L/menit, disuplai menerus
Pengenceran Lindi	10 kali
Waktu Kontak	180 menit
Parameter yang diukur	pH, alkalinitas, BOD; COD; dan DHL

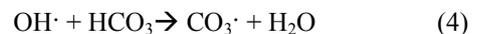
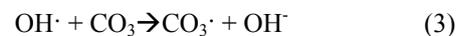
Efektifitas proses ozonisasi konvensional dan AOP akan ditentukan berdasarkan pengukuran parameter BOD, COD, dan Daya Hantar Listrik (DHL) pada setiap interval 30 menit selama 180 menit. Perubahan pH dan alkalinitas juga diukur untuk melihat respon dari lindi terhadap variasi proses ozonisasi. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Sampel Lindi

Karakteristik lindi TPA Sarimukti setelah diencerkan dapat dilihat pada Tabel 2. Alkalinitas merupakan kemampuan air untuk menetralkan asam. Nilai total alkalinitas pada sampel lindi sangat tinggi yaitu 1300 mg/L yang dimungkinkan karena konsentrasi ammonia yang tinggi pula. Alkalinitas menyatakan adanya kandungan senyawa karbonat dan bikarbonat. Senyawa ini pada proses ozonisasi air lindi berfungsi sebagai inhibitor (Fernando, 1995), akibatnya proses reaksi berantai dekomposisi ozon

menjadi OH[•] dapat terhambat (Von Gunten, 2003), seperti pada reaksi di bawah:



Reaksi 3 dan 4 memberikan informasi bahwa reaksi antara karbonat atau bikarbonat dengan OH[•] menghasilkan CO₃[•] yang akan menghentikan reaksi berantai (Von Gunten, 2003).

Tabel 2. Karakteristik sampel Lindi TPA Aktif

Parameter	Satuan	Nilai
Suhu	°C	23
pH	-	8,7
Alkalinitas	mg CaCO ₃ /L	1300
Amonia	mg/L	6.906,72
COD	mg O ₂ /L	213,4
BOD	mg O ₂ /L	42,9
DHL	µS/cm	51,2
TOC	mg/L	85,58

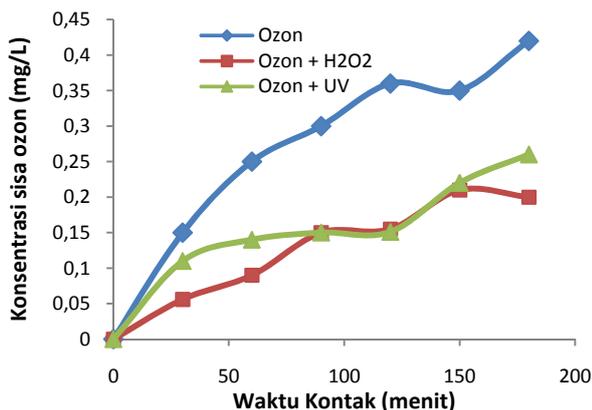
Kandungan amonia pada sampel lindi sangatlah tinggi hal ini menunjukkan terjadinya proses amonifikasi, dikarenakan 70% komposisi sampah di Indonesia adalah bahan organik (Raharjo, 2009), sehingga bakteri heterotropik akan merubah organik nitrogen dalam tumpukan sampah menjadi amonia. Konsentrasi tersebut termasuk dalam kisaran amonia yang terkandung dalam lindi pada TPA aktif seperti yang disebutkan oleh Renou (2008) yaitu dapat mencapai 13.000 mg/L.

Kandungan TOC pada sampel sebesar 85,58 mg/L. Perbandingan BOD/COD pada sampel hanya 0,2, hal ini mengindikasikan lindi didominasi oleh kandungan bahan organik *non-biodegradable*. Rasio BOD₅/COD yang kurang dari 0,5, mengindikasikan proses pengolahan sebaiknya tidak menggunakan proses biologi namun fisik-kimia (Tchobanoglous dkk., 2003).

Parameter DHL mengindikasikan kandungan anion dan kation untuk menghantarkan arus listrik yang dialirkan ke dalam air terkandung pada sampel yaitu sebesar 51,2 μS/cm yang merupakan pengukuran hasil pengenceran 10 kali. Nilai tersebut termasuk kategori rendah jika dibandingkan dengan lindi dari TPA lainnya di Indonesia yaitu sekitar 1.000-40.000 μS/cm. Ion-ion utama yang menyebabkan kandungan daya hantar listrik adalah ion hydrogen H⁺ dan hidroksida OH⁻ selain dari adanya kandungan fosfat dan nitrat. Kedua ion tersebut memiliki peran dalam proses ozonisasi seperti pada reaksi (1) dan (3).

Konsentrasi sisa ozon

Konsentrasi sisa ozon pada proses ozonisasi konvensional, O₃/H₂O₂ dan O₃/UV dapat dilihat pada Gambar 2.



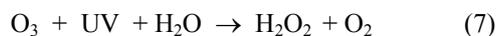
Gambar 2. Konsentrasi sisa ozon pada proses ozonisasi konvensional dan AOP

Pada gambar tersebut, setelah menit ke-30, terlihat perbedaan konsentrasi sisa ozon yang signifikan antara proses konvensional dan proses AOP. Terlihat bahwa pada proses AOP laju dekomposisi ozon lebih cepat dibandingkan dengan ozonisasi konvensional. Penambahan H₂O₂ berperan sebagai inisiator pada reaksi dekomposisi ozon sehingga terbentuk OH⁻ yang merupakan bahan dengan daya

oksidasi terbesar dalam air (Von Gunten, 2003). Ketika H₂O₂ dilarutkan dalam air, maka akan terdisosiasi menjadi ion hidroperoksida, lalu akan menghasilkan radikal superoksida yang merupakan promotor reaksi berantai (Von Gunten, 2003).

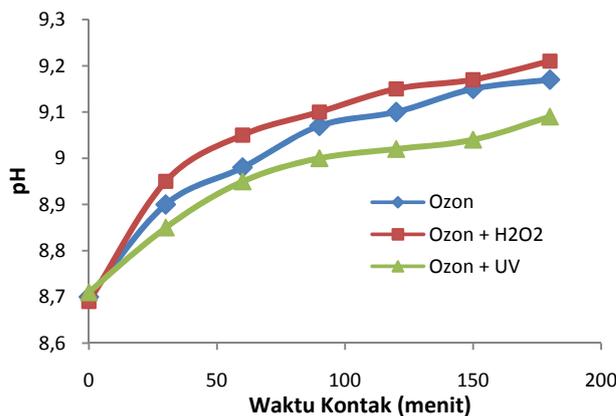


Proses O₃/UV memiliki *trend* nilai konsentrasi sisa ozon yang hampir sama dengan O₃/H₂O₂. Sinar UV yang diberikan pada sampel akan diserap oleh ozon dan menghasilkan H₂O₂ sebagai hasil *intermediate* yang kemudian akan terdekomposisi menjadi OH radikal. Reaksi yang terjadi antara ozon dengan UV dapat dilihat pada persamaan reaksi dibawah ini (Savant, 2003):



Perubahan pH dan Alkalinitas

Respon lindi pada proses ozonisasi diukur melalui dinamika pH, dan alkalinitas pada proses ozonisasi konvensional dan proses AOP. Derajat keasaman, merupakan parameter universal yang digunakan untuk mengukur intensitas asam dan basa dari larutan. Lebih dari itu, pengukuran pH merupakan cara untuk mengukur konsentrasi ion H, lebih tepatnya aktifitas ion H. Sementara alkalinitas menyatakan kandungan bahan karbonat dan bikarbonat yang terdapat pada sampel. pH lindi merupakan parameter penting karena ion hidroperoksida menginisiasi dekomposisi ozon. Sementara karbonat dan bikarbonat dapat menghambat reaksi dekomposisi ozon.



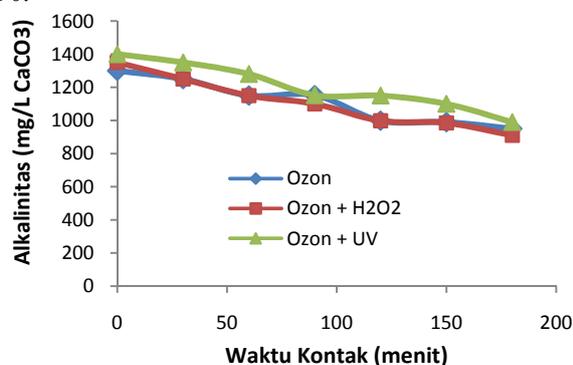
Gambar 3. Perubahan pH pada proses ozonisasi konvensional dan AOP

Gambar 3 menunjukkan pH air meningkat seiring penambahan waktu kontak pada setiap proses yang ada. Perbedaan pH antara ke-3 proses tidaklah besar. Pada proses ozonisasi, kenaikan pH selalu memiliki efek yang positif terhadap penyisihan COD (Fernando, 1995), tergantung dari jenis reaksi yang berlangsung. Berdasarkan Fernando (1995), pada reaksi langsung, kenaikan pH mengindikasikan

adanya kehadiran senyawa yang dapat langsung bereaksi dengan ozon seperti ditunjukkan pada reaksi 1. Reaksi tidak langsung, terjadi antara produk dekomposisi ozon yaitu $OH\cdot$ dengan senyawa lainnya. Reaksi ini terjadi ketika $OH\cdot$ yang dihasilkan dari reaksi 2 bereaksi dengan senyawa yang terdapat pada lindi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kenaikan pH dapat terjadi pada reaksi antara ozon secara langsung ataupun pada produk dekomposisinya yaitu $OH\cdot$ dengan senyawa yang terdapat pada lindi. Kenaikan nilai pH hingga pada kisaran range 8-9 akan mempercepat proses dekomposisi ozon (Kurniawan dkk., 2006) seperti terlihat pada Gambar 2.

Hasil pengukuran alkalinitas menunjukkan fenomena yang berbeda dengan pH, alkalinitas mengalami penurunan seperti terlihat pada Gambar 4. Seperti ditunjukkan pada reaksi 3 dan 4, pada proses ozonisasi menurut Acero dan Von Gunten (2000), karbonat dan bikarbonat dapat bereaksi dengan produk dekomposisi ozon dan menghasilkan karbonat radikal yang menjadi pemutus reaksi berantai pembentukan $OH\cdot$. Oleh karena itu karbonat dan bikarbonat akan digunakan sebagai reaktan pada proses ozonisasi baik konvensional maupun AOP sehingga akan mengalami penurunan konsentrasi seiring penambahan waktu kontak.

Percobaan dilakukan secara *semi batch*. Gambar 3 dan 4 menunjukkan perubahan pH dan alkalinitas memiliki perbedaan gradien pada menit ke 90, dimana perubahan pH dan alkalinitas setelah menit tersebut lebih landai dibandingkan sebelum menit ke-90.



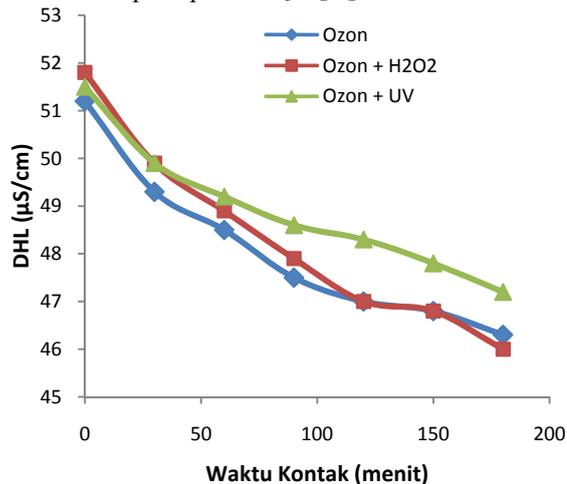
Gambar 4. Perubahan alkalinitas pada proses ozonisasi konvensional dan AOP

Efektifitas proses ozonisasi konvensional dan AOP

Pengukuran DHL mengindikasikan pengukuran bahan anorganik dalam sampel lindi, sementara pengukuran COD mengindikasikan penurunan bahan organik pada sampel lindi. Konduktivitas dapat menunjukkan jumlah kehadiran ion secara total, pergerakan dan valensi ionnya. Tingginya kandungan DHL biasanya menunjukkan tingkat pencemaran pada air. Berdasarkan Sehad (2008), air lindi diindikasikan banyak mengandung senyawa asam, basa dan garam yang terlarut sehingga terpecah menjadi ion positif dan ion negatif yang meningkatkan DHL. Kandungan DHL pada sampel

setelah diencerkan adalah 51,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dimana menurut Pidriansy (2012), kandungan DHL pada sekitar sumur terdekat dengan TPA berkisar 132,5 dan 1420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan tergolong tinggi.

DHL merupakan indikator adanya kandungan zat-zat terlarut berupa kation dan anion yang bisa menghantarkan arus listrik. Pada Gambar 5, untuk ketiga variasi proses, terjadi penurunan DHL dengan nilai yang tidak berbeda secara signifikan, yaitu antara 45,8-47,1 $\mu\text{mhos}/\text{L}$ atau turun sekitar 8-11% dari kondisi awal. Meskipun demikian penurunan yang terbesar ada pada proses $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$.

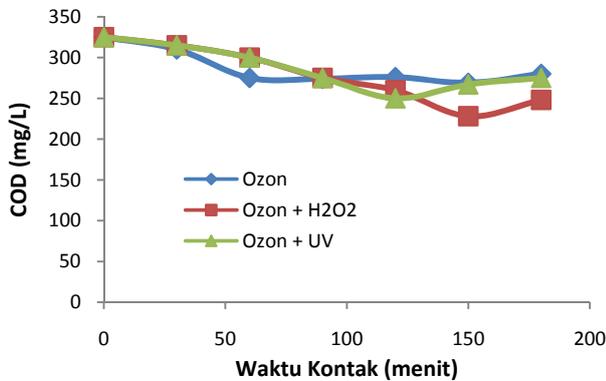


Gambar 5. Pengukuran DHL

Penurunan DHL terjadi akibat dari terlepasnya kation dan anion yang kemudian mengendap dalam kondisi basa, dimana berdasarkan Gambar 3, pH mengalami kenaikan hingga diatas 9 pada seluruh proses. Fenomena ini menguatkan penelitian Rezagama dan Notodarmojo (2012).

Grafik pengukuran COD dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut, ketiga variasi memberikan *trend* dengan kecenderungan yang sama. Gambar 6 memberikan informasi, pada seluruh variasi, terdapat dua tahapan penyisihan. Titik kritis pada proses ozonisasi konvensional yaitu pada menit ke-60, dimana konsentrasi COD mencapai 275 mg/L, sementara hingga menit ke 180 efisiensi penurunan COD mencapai 18,74%. Pada proses O_3/UV , titik kritis terjadi hingga menit ke 120, dimana COD turun hingga 264,41 mg/L. Hasil terbaik ditunjukkan oleh proses $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, dimana titik kritis terjadi pada menit ke 150, COD turun hingga mencapai 231,46 mg/L (28,9%). Sebagai perbandingan, maka dilakukan pengukuran TOC pada titik kritis pada proses ozonisasi konvensional, dan nilai TOC turun sebesar 46% menjadi 44,65 mg/L. Fenomena tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi sisa ozon. Nilai konsentrasi sisa ozon yang lebih kecil mengindikasikan jumlah $OH\cdot$ yang lebih dominan dan dominasi produk dekomposisi itu secara berturut turut dominan pada proses $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, kemudian O_3/UV dan ozonisasi konvensional. Proses ozonisasi yang disertai penambahan H_2O_2 akan menghasilkan proses dimana

OH[•] akan lebih dominan dibandingkan dengan ozon itu sendiri, sehingga spesies ini akan lebih dominan berperan pada proses ini dengan daya oksidasi yang lebih baik (Cortez, dkk, 2010).

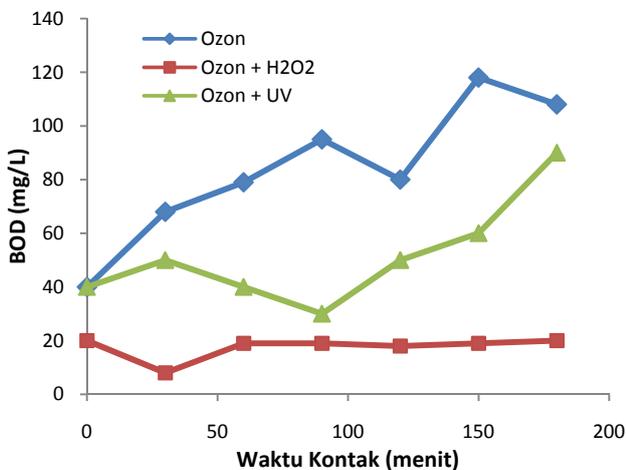


Gambar 6. Pengukuran COD

Reaksi tidak langsung melalui OH[•] berperan lebih dominan dalam penyisihan bahan organik untuk menghasilkan efisiensi penyisihan yang lebih baik. Penelitian ini menguatkan hasil penelitian Renou (2008), dimana teknik oksidasi lanjut merupakan teknik yang dapat diterapkan untuk menyisihkan kandungan bahan organik.

Reaksi antara OH[•] dan bahan organik dapat menyebabkan efek terhadap stabilitas ozon. Setelah reaksi antara OH[•] dan bahan organik terjadi maka fraksi dari bahan organik menjadi *carbon center radical*. Reaksi *carbon center radical* dengan oksigen akan menyebabkan pembentukan *superoxide radical*, yang akan bereaksi dengan ozon membentuk OH radikal kembali (Von Gunten, 2003).

Parameter lain yang mengukur tingkat efektivitas proses ozon adalah BOD yang menunjukkan indikator bahan organik yang bisa di degradasi secara biologi. Hasil pengukuran BOD untuk ketiga variasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengukuran BOD

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa terjadi peningkatan BOD untuk variasi ozon konvensional dan variasi O₃/UV. Variasi O₃/H₂O₂, terjadi deviasi terlihat dimana pada menit ke nol terjadi perbedaan yang signifikan dengan kedua variasi lainnya. Hal ini disebabkan karena ternyata dalam metoda pengukuran BOD yang digunakan, senyawa H₂O₂ diduga dapat berperan sebagai senyawa pengganggu terhadap pengukuran BOD.

Gambar 7 memberikan indikasi bahwa proses yang dilakukan sudah berhasil dalam meningkatkan biodegradabilitas lindi. Peningkatan BOD dengan proses ozon konvensional memberikan hasil yang lebih baik dari AOP. Proses penyisihan bahan organik secara langsung dengan ozon diduga bisa meningkatkan tingkat biodegradabilitas lindi. Di sisi lain proses AOP seharusnya memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan ozonisasi konvensional karena proses tersebut menginisiasi pembentukan OH[•]. Adanya radiasi UV tidak hanya mengaktifkan molekul ozon untuk membentuk OH radikal tetapi juga membuat senyawa organik mudah untuk dioksidasi (Li dkk., 2010). Fenomena tersebut mengindikasikan perlunya penelitian lanjutan untuk meneliti proses AOP terhadap penyisihan BOD, karena proses AOP melalui ozonisasi dapat meningkatkan kualitas lindi hingga siap untuk didegradasi secara biologi (Tizaoui dkk., 2007). Tizaoui (2007) menyatakan bahwa penambahan H₂O₂ memerlukan dosis optimum untuk proses oksidasi, sementara pada proses O₃/UV, diperlukan penelitian lanjutan mengenai jarak antara sumber sinar UV dan ozon kontaktor.

KESIMPULAN

Proses ozonisasi pada lindi akan menaikkan nilai pH sementara alkalinitas akan menurun. Pengolahan lindi dapat dilakukan dengan proses ozonisasi konvensional maupun AOP berbasis ozon. Proses AOP dapat meningkatkan proses dekomposisi ozon, sehingga OH[•] akan lebih dominan mengoksidasi polutan yang terdapat pada lindi.

Proses ozonisasi dan AOP bisa digunakan untuk menyisihkan DHL dan COD, sebaliknya BOD akan meningkat dan menunjukkan biodegradabilitas lindi meningkat sehingga lebih siap untuk pengolahan lanjutan berupa pengolahan biologi. Hasil terbaik pengolahan lindi ditunjukkan pada proses O₃/H₂O₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DP2M Ditjen Dikti) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Tahun Anggaran 2013 yang telah membiayai penelitian ini sebagai Penelitian Hibah Bersaing

DAFTAR PUSTAKA

Acero, J.L. and Von Gunten, U., (2000), Influence of carbonate on the ozone/hydrogen peroxide based

- advanced oxidation process for drinking water treatment, *Ozone Science and Engineering*, 22, pp. 305-328.
- AMPL, (2008), Sinkronisasi Kebijakan Pengelolaan Persampahan di Indonesia, *AMPL.or.id* diakses 06 Januari 2014
- Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., and Mota, M., (2010), Ozonation as polishing treatment of mature landfill leachate, *Journal of Hazardous Material*, 182, pp. 730-734.
- Fernando, B.J., (1995), *Ozone reaction kinetic for water and wastewater system*, CRC Press company, Washington DC, pp 11-12.
- Kementerian Lingkungan Hidup, (2008), *Statistik Persampahan Indonesia*, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta Indonesia, pp 16-17.
- Kurniawan, T.A., Wai-Hung, L., and Chan, G.Y.S., (2006), Radical Catalyzed Oxidation Reaction for Degradation of Recalcitrant Compound From Landfill Leachate, *Chemical Engineering Journal*, 125, pp. 35-57.
- Li, W., Zhou, Q., and Hua, T., (2010), Removal of Organic Matter from Landfill Leachate by Advanced Oxidation Processes : A Review, *International Journal of Chemical Engineering*, 2010, pp 1-10.
- Mahmud, K., Hossein, D.M.D., and Shams,S., (2012), Different Treatment Strategies for Highly Polluted Landfill Leachate in Developing Countries, *Journal Waste Management*, 32, pp. 2096-2105.
- Pidriansy, Q., (2013), Kajian Pencemaran Air Tanah Dangkal Dan Analisis Resiko Kesehatan Manusia Akibat Lindi Dari Landfill, *Tesis Magister*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Raharjo, S., (2009), Perbaikan Pengelolaan Sampah di Indonesia, *Jurnal Inovasi Online*, 14/XXI/Juli 2009, pp 19-22.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirrasouyan, F., and Moulin, P., (2008), Landfill leachate treatment: Review and opportunity, *Journal of Hazardous Materials*, 150 (3), pp. 468-493.
- Rezagama, A. dan Notodarmojo, S., (2012), Kinetika Transfer Ozon dan Tren Kekehrandalan Air Lindidengan Pengolahan Ozonisasi, *ejournal.undip*, di akses tanggal 8 Agustus 2014
- Savant, G., (2003), Combine Ozone And Ultraviolet Inactivation Of Escherichia Coli, *Master of Science Thesis*, Mississippi State University, Mississippi.
- Sehah dan Cahyanto, W.T., (2009), Pengujian Daya Hantar Listrik Air Tanah Di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Gunung Tugel Kabupaten Banyumas Menggunakan Prinsip Jembatan Wheatstone, *Jurnal Molekul*, 4(1), pp. 39-41.
- Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L., and Ghrabi, A., (2007), Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide system, *Journal of Hazardous Materials*, 140, pp. 316-324.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, D.H., (2003), *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4th, McGraw-Hill Company, Inc, Metcalf and Eddy Hongkong, pp 96-97
- Von Gunten, U., (2003), Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Research*, 37 (7), pp. 1443-1467.
- Wu, J.J., Wu, C., Ma, H., and Chang, C., (2004), A Short Communication Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes, *Journal of Chemosphere*, 54, pp. 997-1003.