

Pengolahan Lindi dengan Menggunakan *Advanced Oxidation Process (AOP)* dengan Variasi Debit Udara

MAYANG AFI FADIYAH, M. RANGGA SURURI, SITI AINUN

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Nasional
Email : mayang_25993@yahoo.com

ABSTRAK

TPA Sarimukti memiliki karakteristik lindi dengan rasio BOD/COD yang sangat kecil yaitu 0,130, untuk rasio BOD/COD yang kurang dari 0,5 sebaiknya dilakukan pengolahan secara fisik-kimia. Salah satu pengolahan fisik-kimia yang bisa diterapkan yaitu dengan oksidasi lanjut menggunakan AOP berbasis ozon (O_3/H_2O_2). Penelitian ini menggunakan suplai oksigen dari udara bebas karena dinilai lebih ekonomis, yaitu dengan melakukan variasi debit udara. Debit udara berpengaruh signifikan terhadap peningkatan oksigen terlarut. Semakin besar debit oksigen, maka semakin tinggi kelarutan oksigen menjadi ozon. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat mengetahui debit udara yang terbaik dalam pengolahan lindi TPA Sarimukti dengan proses AOP berbasis ozon (O_3/H_2O_2). Penelitian ini menggunakan variasi debit udara 2 L/menit, 3 L/menit, dan 4 L/menit yang dialirkan ke ozon generator untuk menghasilkan ozon kemudian dialirkan menuju reaktor semi batch dengan kapasitas 1,5 L kemudian dikontakkan dengan lindi sebanyak 1 liter dengan dosis H_2O_2 1,197 g/L dalam kontaktor. Efisiensi penyisihan parameter kekeruhan tertinggi terdapat pada debit udara 4 L/menit dengan penurunan nilai kekeruhan mencapai 45,14% dan DHL 15,00%. Hal ini juga ditandai dengan tingginya nilai pH pada debit udara 4 L/menit yaitu 9,29.

Kata kunci: Lindi, AOP berbasis ozon (O_3/H_2O_2), Variasi debit udara

ABSTRACT

BOD/COD ratio at TPA Sarimukti landfill is 0,130, according to the ratio of BOD/COD, which is less than 0,5 should be done by physically-chemical process. One of the physical-chemical treatment that can be applied is the AOP-based using ozone (O_3/H_2O_2). This research uses the oxygen supply from the ambient air as it is considered more economical, so that in this study uses air flow variations. Air flow has significant impact to the increase the dissolved oxygen. The higher the flow rate of the oxygen, the higher the solubility of oxygen into ozone. This research are expected to know the best in the air flow of Sarimukti landfill's leachate treatment with AOP (O_3/H_2O_2) method. This research used air compressor with the air flow rate 2 L/min, 3 L/min, and 4 L/min supplying to the ozone generator to produce ozone, then flowed into a semi batch reactor with a capacity of 1,5 L, and then contacted with 1 liter leachate with 1,197 H_2O_2 g/L in the ozone contactor. The highest turbidity removal efficiency occurred on the air flow rate 4 L/min with a decreasing in the value of turbidity that reached 45,14% and DHL 15,00%. It is also characterized by a high pH value of air flow rate 4 L/min is 9,29.

Keywords: Leachate, AOP-based using ozone (O_3/H_2O_2), Air flow variations

1. PENDAHULUAN

TPA Sarimukti merupakan tempat pemrosesan akhir sampah yang dikelola oleh Balai Pengelolaan Sampah Regional (BPSR) Jawa Barat. TPA ini terletak di Kecamatan Cipatat, Kabupaten Bandung Barat yang menampung sampah dari Kota Bandung, Kota Cimahi, dan Kabupaten Bandung Barat.

Timbulan sampah yang masuk ke TPA menghasilkan cairan berupa lindi. Lindi merupakan limbah cair dari timbunan sampah yang memiliki karakteristik yang bermacam-macam karena pada umumnya sampah yang masuk ke TPA merupakan sampah yang tercampur. Dalam lindi terdapat berbagai senyawa kimia organik maupun anorganik, sejumlah bakteri patogen, timbal, amoniak, dan mikroba parasit seperti kutu air (*Sarcoptes* sp) yang menyebabkan gatal-gatal pada kulit (Susanto dkk, 2004). Oleh karena itu, lindi yang dihasilkan dari TPA Sarimukti harus diolah terlebih dahulu sehingga tidak mencemari badan air penerima.

Data yang diperoleh dari BPSR Jawa Barat pada tahun 2014, rasio BOD/COD TPA Sarimukti sangat kecil yaitu 0,130 dimana rasio BOD/COD yang kurang dari 0,5 sebaiknya dilakukan pengolahan secara fisik-kimia (Tchobanoglous dkk, 2003). Berdasarkan hal tersebut, perlu adanya pengolahan secara fisik-kimia pada instalasi pengolahan lindi. Salah satu pengolahan fisik-kimia yang bisa diterapkan yaitu dengan oksidasi lanjut menggunakan ozon sebagai oksidator.

Proses ozonisasi merupakan alternatif dalam pengolahan lindi karena memiliki kekuatan oksidasi yang tinggi (Tizaoui dkk, 2007). Ozon merupakan oksidator kuat dalam air yang memiliki oksidasi potensial sebesar 2,07 V (Lenntech, 2009). Selain itu, ozon sangat efektif dalam menyisihkan kandungan organik maupun anorganik. Ozon dapat terdekomposisi menjadi OH^\bullet (OH radikal), dimana OH^\bullet terbentuk oleh adanya penambahan H_2O_2 yang bereaksi dengan ozon. Proses tersebut dikenal sebagai *Advanced Oxidation Process* (AOP) yang merupakan teknologi untuk mengoksidasi senyawa organik kompleks pada air limbah yang sukar didegradasi secara biologi (Tchobanoglous dkk, 2003). Metode AOP pada penelitian ini menggunakan kombinasi ozon dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang diharapkan dapat menginisiasi proses dekomposisi ozon menjadi OH^\bullet . Senyawa yang berperan pada proses AOP ini yaitu ozon dan OH^\bullet . OH^\bullet merupakan oksidator terkuat dalam air dengan oksidasi potensial yang lebih tinggi dibandingkan dengan ozon sebesar 2,86 V (Lenntech, 2009). Oleh karena itu, OH^\bullet menjadi lebih penting sebagai oksidator terkuat yang dapat mengoksidasi kandungan pencemar di dalam lindi.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan Nuriana menggunakan oksigen murni sebagai sumber utama yang diubah menjadi ozon tetapi pada penelitian ini menggunakan suplai udara bebas. Udara bebas mengandung kadar oksigen sebesar 21% yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber utama yang dapat diubah menjadi ozon dengan biaya yang ekonomis serta secara teknis lebih mudah diaplikasikan di IPL TPA Sarimukti. Penelitian ini menggunakan variasi debit udara sebesar 2 L/menit, 3 L/menit, dan 4 L/menit. Peningkatan debit udara berpengaruh signifikan terhadap peningkatan oksigen terlarut, semakin besar debit oksigen, kelarutan oksigen menjadi ozon akan sangat tinggi (Rezagama, 2012). Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mengetahui debit udara yang terbaik dalam pengolahan lindi TPA Sarimukti dengan proses AOP berbasis ozon ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$).

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode AOP berbasis ozon (O_3/H_2O_2). Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITENAS Bandung. Hal yang pertama dilakukan adalah pengambilan sampel. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah lindi yang berasal dari TPA Sarimukti yang terletak di Desa Sarimukti, Kecamatan Cipatat Kabupaten Bandung Barat. Pengambilan sampel dilakukan secara metode *grab sampling*. *Grab sampling* merupakan teknik sampling dengan cara mengambil sampel dengan satu kali pengambilan dari sumber yang diteliti. Sampel diambil dari inlet tempat pengolahan lindi. Titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik Pengambilan Sampel

Sampel yang telah diambil dari sumber harus diuji karakteristik awal. Uji karakteristik awal lindi dilakukan untuk mengetahui kondisi sampel sebenarnya di inlet tempat pengolahan lindi. Karakteristik awal lindi diukur berdasarkan parameter pH, kekeruhan, dan DHL. Tabel 1 menunjukkan beberapa metode pemeriksaan sampel.

Tabel 1. Metode Pemeriksaan Sampel

No.	Parameter	Satuan	Metode Pengukuran	Sumber
1.	pH	-	Potensiometri	SNI 06-6989-11-2004
2.	Kekeruhan	NTU	Nefelometric	SNI06-6989.25-2005
3.	DHL	$\mu\text{mhos/cm}$	Konduktivimetri	SNI 06-6989.1-2004

Sumber : Berbagai Sumber, 2015

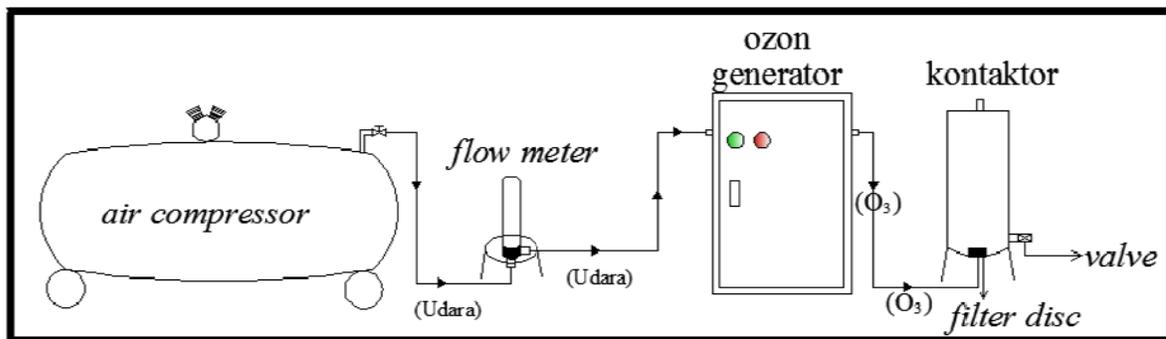
Langkah selanjutnya, sampel kemudian diawetkan agar kualitas sampel tidak berubah selama perjalanan dari lokasi sampling hingga ke laboratorium. Setiap parameter memiliki metode pengawetan yang berbeda. Pengawetan sampel yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Cara Pengawetan Contoh Uji Air Limbah

No.	Parameter	Wadah	Pengawetan	Batas Penyimpanan
1.	pH	Plastik, gelas	Tanpa pengawetan	Analisis segera
2.	Kekeruhan	Plastik, gelas	a. Tanpa pengawetan b. Dinginkan $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, simpan di tempat gelap	Analisis segera 48 jam
3.	DHL	Plastik, gelas	a. Tanpa pengawetan b. Dinginkan $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	Analisis segera 28 hari

Sumber : *Standard Methods edisi ke-20 dan 40 CFR part 136 dalam Anwar Hadi, 2005*

Sampel yang sudah diawetkan tersebut kemudian dilakukan perlakuan dengan proses AOP berbasis ozon ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$) dengan menggunakan variasi debit udara. Rangkaian alat yang digunakan pada proses AOP ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$) antara lain yaitu *air compressor*, *flow meter*, ozon generator, dan kontaktor yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Rangkaian Alat yang Digunakan Pada Proses AOP ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$)

Gambar 2. merupakan skema rangkaian alat yang digunakan pada proses AOP ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$), dimana *air compressor* mengalirkan udara yang kemudian dialirkan menuju *flow meter*. *Flow meter* berfungsi sebagai pengatur debit udara yang ditentukan dengan variasi debit udara sebesar 2 L/menit, 3 L/menit, dan 4 L/menit. Pemilihan 3 variasi debit udara ini berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Nuriana (2015) yang menggunakan debit udara sebesar 3 L/menit, sehingga untuk mengetahui perbedaan kondisi pada debit lain maka dipilih debit udara di bawah dan di atas 3 L/menit, yaitu debit udara 2 L/menit dan 4 L/menit. Kemudian setelah melewati *flow meter*, udara masuk ke ozon generator dimana oksigen dalam udara yang masuk akan dikonversikan menjadi ozon. Ozon yang dihasilkan dari ozon generator kemudian dialirkan ke dasar kontaktor melalui *filter disc* berukuran pori 100-160 μm . Di dalam kontaktor, lindi sebanyak 1 liter dengan penambahan H_2O_2 sebesar 1,197 g/L direaksikan dengan ozon. Konsentrasi H_2O_2 sebesar 1,197 g/L merupakan konsentrasi terbaik pada penelitian Nuriana (2015).

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Awal Lindi

Hasil pengukuran karakteristik lindi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Awal Lindi

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	8,6-8,7
suhu	°C	25-29
Kekeruhan	NTU	80-90
DHL	µmhos/cm	2470-3000

Sumber : Hasil Pengukuran, 2015

Tabel 3 merupakan hasil pengukuran karakteristik awal lindi yang diperoleh dari beberapa kali sampling sehingga didapatkan beberapa nilai yang disajikan dalam bentuk rentang nilai. Dapat dilihat suhu lindi menunjukkan rentang nilai antara 25-29°C. Suhu merupakan salah satu parameter yang penting untuk diketahui pada karakteristik awal lindi. Suhu termasuk parameter yang mempengaruhi kelarutan ozon (Gunten, 2003).

pH awal pada lindi cenderung basa dengan rentang nilai sebesar 8,6-8,7, hal tersebut sesuai dengan pendapat Damanhuri (2008) yang menyatakan bahwa kekhasan lindi sampah Indonesia memiliki karakter pH tidak asam. Pengukuran pH dilakukan secara insitu dengan menggunakan pH meter. pH yang tinggi akan memudahkan dalam pembentukan OH[•](OH radikal) karena kehadiran ion OH⁻ dapat menginisiasi dekomposisi ozon menjadi OH[•]. Semakin tinggi pH dalam sampel, maka OH⁻ dalam sampel akan semakin banyak (USEPA, 1999).

Kekeruhan merupakan parameter fisik di dalam air. Kekeruhan dapat disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (misalnya lumpur dan pasir halus) (Tchobanoglous dkk, 2003). Kekeruhan yang diukur menyatakan senyawa organik dan anorganik yang terdapat pada lindi. Nilai kekeruhan pada sampel lindi memiliki rentang nilai sebesar 80-90 NTU.

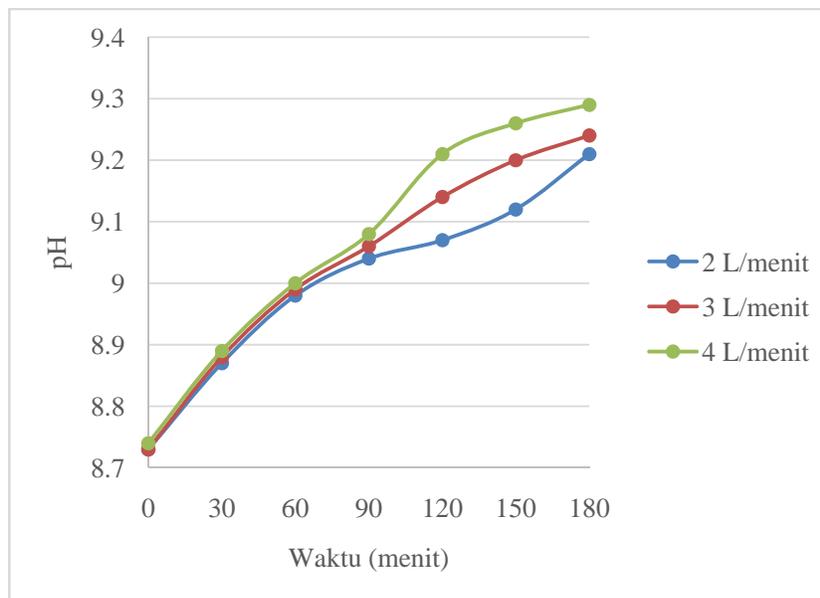
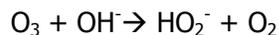
DHL didefinisikan sebagai kemampuan dari air untuk menghantarkan arus listrik dan dapat dijadikan indikator kehadiran senyawa anorganik (Effendi, 2003). DHL yang diukur menyatakan senyawa anorganik yang terdapat pada lindi. Nilai DHL pada sampel memiliki rentang nilai sebesar 2470-3000 µmhos/cm.

3.2 pH

Nilai pH menunjukkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan menunjukkan karakteristik asam basa pada perairan (Ali, 2011). pH merupakan parameter yang berpengaruh terhadap proses dekomposisi ozon (Salama, 2000). Berdasarkan pengukuran karakteristik awal lindi diketahui rentang nilai pH yaitu 8,6-8,7. Setelah mengukur karakteristik awal lindi, lindi diolah dengan proses AOP (O₃/H₂O₂) kemudian diperoleh nilai pH pada setiap variasi debit udara. Nilai pH selama proses AOP (O₃/H₂O₂) pada setiap variasi debit udara dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan nilai pH mengalami kenaikan di setiap waktu kontaknya. Adanya kenaikan pada parameter pH mengindikasikan proses oksidasi berjalan dengan baik, karena ketika nilai pH meningkat maka pembentukan OH radikal juga meningkat (USEPA, 1999). pH yang tinggi menunjukkan adanya ion hidroksida (OH⁻). OH⁻ merupakan inisiator dalam proses

dekomposisi ozon menjadi OH radikal (USEPA, 1999). Pernyataan tersebut didukung dengan reaksi di bawah ini (Gunten, 2003).



Gambar 3. Nilai pH Selama Proses AOP (O₃/H₂O₂) Pada Setiap Variasi Debit Udara

Dari grafik diketahui saat menit ke-0 hingga menit ke-90 ketiga variasi debit udara menunjukkan *trend* yang sama. Saat menit ke-120 menunjukkan perbedaan dimana untuk debit udara 4 L/menit menunjukkan trend yang lebih tinggi dibandingkan dengan debit udara yang lainnya. Pada debit udara 3 L/menit menunjukkan grafik yang berbeda dengan kondisi debit udara yang lainnya. Debit udara 3 L/menit menggambarkan grafik yang cenderung konstan. Debit udara 2 L/menit menunjukkan grafik yang cenderung landai.

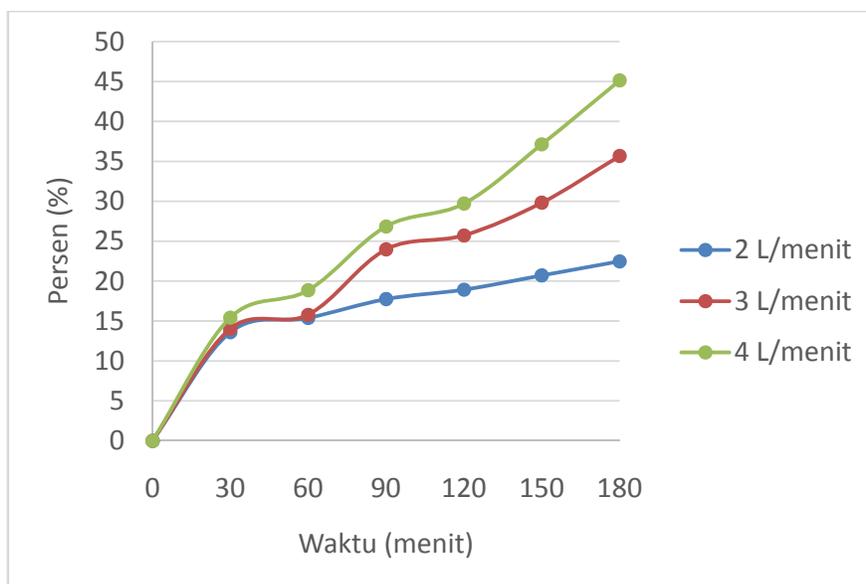
Dilihat dari grafik, ketiga variasi debit udara mendukung pembentukan OH radikal, karena pembentukan OH radikal membutuhkan nilai pH yang tinggi. Debit udara 4 L/menit menunjukkan kenaikan pH yang paling tinggi. Hal ini disebabkan karena debit udara yang tinggi akan banyak menyuplai ozon dan diperkirakan menghasilkan OH radikal tertinggi yang ditunjukkan dengan banyaknya OH⁻. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Rezagama (2012) yang menyatakan bahwa semakin tinggi debit udara maka nilai pH akan semakin tinggi.

3.3 Kekeruhan

Kekeruhan merupakan parameter fisik di dalam kualitas air. Kekeruhan dapat disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (misalnya lumpur dan pasir halus) (Tchobanoglous dkk, 2003). Berdasarkan pengukuran karakteristik awal lindi

diketahui konsentrasi kekeruhan yaitu 80-90 NTU. Setelah mengukur karakteristik awal lindi, lindi diolah dengan proses AOP (O_3/H_2O_2) kemudian dihasilkan nilai konsentrasi kekeruhan pada setiap variasi debit udara. Parameter kekeruhan setelah proses AOP (O_3/H_2O_2) dinyatakan dalam persentase efisiensi penyisihan. Grafik nilai efisiensi penyisihan kekeruhan selama proses AOP (O_3/H_2O_2) pada setiap variasi debit udara dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan efisiensi penyisihan parameter kekeruhan yang mengalami kenaikan di setiap waktu kontakannya. Kenaikan efisiensi penyisihan parameter kekeruhan terdapat pada seluruh variasi debit udara, akan tetapi menunjukkan *trend* yang berbeda. Saat menit ke-30 dan 60 pada debit udara 2 L/menit dan 3 L/menit menunjukkan efisiensi penyisihan yang sama dibandingkan debit udara 4 L/menit yang menunjukkan efisiensi penyisihan yang berbeda. Grafik menunjukkan semakin tinggi debit udara maka efisiensi penyisihan kekeruhan semakin tinggi. Besarnya efisiensi penyisihan kekeruhan tertinggi di menit ke-180 untuk debit 2 L/menit sebesar 22,49%, debit 3 L/menit sebesar 35,67%, dan debit 4 L/menit sebesar 45,14%.



Gambar 4. Efisiensi Penyisihan Parameter Kekeruhan Selama Proses AOP (O_3/H_2O_2) Pada Setiap Variasi Debit udara

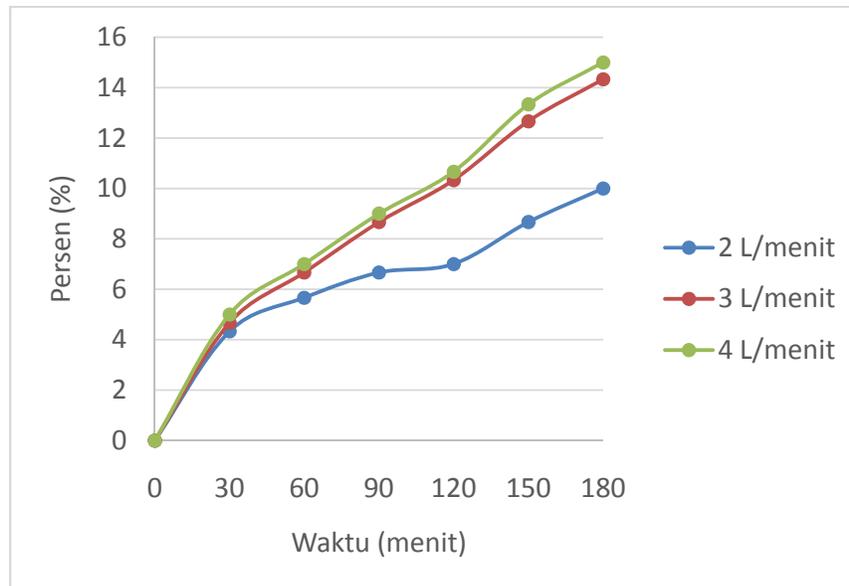
Debit udara 4 L/menit menunjukkan efisiensi penyisihan yang tertinggi dibandingkan dengan variasi debit udara yang lainnya yaitu mencapai 45,14%. Tingginya efisiensi penyisihan kekeruhan pada variasi debit udara 4 L/menit dapat disebabkan karena pada variasi debit udara ini memiliki kenaikan nilai pH yang paling tinggi diantara variasi debit udara yang lainnya. Tingginya nilai pH ini ditunjukkan dengan banyaknya OH^- sehingga dapat mengindikasikan banyaknya OH^- radikal yang terbentuk. Semakin banyak OH^- radikal yang terbentuk maka semakin tinggi efisiensi penyisihan kekeruhan.

3.4 DHL

DHL didefinisikan sebagai kemampuan dari air untuk menghantarkan arus listrik dan dapat dijadikan indikator kehadiran senyawa anorganik (Effendi, 2003). Berdasarkan pengukuran karakteristik awal lindi diketahui konsentrasi DHL yaitu 2470-3000 $\mu mhos/cm$. Setelah mengukur karakteristik awal lindi, lindi diolah dengan proses AOP (O_3/H_2O_2) kemudian

diperoleh nilai konsentrasi DHL pada setiap variasi debit udara. Parameter DHL setelah proses AOP (O_3/H_2O_2) dinyatakan dalam persentase efisiensi penyisihan. Grafik nilai efisiensi penyisihan DHL selama proses AOP (O_3/H_2O_2) pada setiap variasi debit udara dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan efisiensi penyisihan parameter DHL yang mengalami kenaikan di setiap waktu kontakannya. Kenaikan efisiensi penyisihan parameter DHL terdapat pada seluruh variasi debit udara. Saat menit ke-30 seluruh variasi debit udara menunjukkan efisiensi penyisihan sama, akan tetapi mulai dari menit ke-60 pada debit udara 2 L/menit menunjukkan trend yang berbeda. Grafik menunjukkan semakin tinggi debit udara maka efisiensi penyisihan DHL semakin tinggi. Besarnya efisiensi penyisihan DHL tertinggi di menit ke-180 pada debit 2 L/menit sebesar 10,00%, debit 3 L/menit sebesar 14,33%, dan debit 4 L/menit sebesar 15,00%.



Gambar 5. Efisiensi Penyisihan Parameter DHL Selama Proses AOP (O_3/H_2O_2) Pada Setiap Variasi Debit udara

Debit udara 4 L/menit menunjukkan efisiensi penyisihan DHL yang tertinggi dibandingkan dengan variasi debit udara yang lainnya yaitu mencapai 15,00%. Tingginya efisiensi penyisihan DHL dapat disebabkan karena proses oksidasi yang berjalan selama proses AOP (O_3/H_2O_2) berjalan dengan baik. Hal ini dapat ditandai dengan nilai pH. Berdasarkan *trend* pH yang sangat mendukung terjadinya OH radikal terdapat pada debit udara 4 L/menit. Nilai pH pada debit udara 4 L/menit menunjukkan kenaikan pH tertinggi yang dapat diperkirakan menghasilkan OH radikal tertinggi yang ditunjukkan dengan banyaknya OH^- .

4. KESIMPULAN

Proses AOP (O_3/H_2O_2) berjalan dengan baik dengan kenaikan nilai pH yang merupakan parameter yang berpengaruh terhadap dekomposisi ozon. Penyisihan kekeruhan dan DHL tertinggipada proses AOP (O_3/H_2O_2) terdapat pada debit udara 4 L/menit yaitu mencapai

45,14% dan 15,00%. Efisiensi penyisihan parameter yang semakin tinggi menandakan bahwa OH radikal yang terbentuk semakin tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak di TPA Sarimukti yang telah mengizinkan saya untuk meneliti sampel lindi yang berada di TPA Sarimukti, Hibah Penelitian Dikti Tahun 2015, serta semua pihak yang terkait dalam penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Ali, 2011. *Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan*. Surabaya : UPN Veteran Jawa Timur.
- Damanhuri, Enri. 2008. *Diktat Landfilling Limbah*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisius.
- Gunten, U. V. 2003. *Ozonitation of Drinking Water : Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation*. Water Reasearch. 37 (2003) 1443-1467.
- Lenntech, 2009. *Ozone Reaction Mechanism*.
- Nuriana, Wulan. 2015. *Pengolahan Lindi TPA Sarimukti dengan Menggunakan Ozonisasi Konvensional dan Advanced Oxidation Process (AOP) Tipe Ozon/H₂O₂*. Bandung : Institut Teknologi Nasional.
- Rezagama, Arya., 2012. *Studi Ozonisasi Senyawa Organik Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sarimukti*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Susanto, J.P., dkk. 2004. *Pengolahan Lindi (Leachate) dari TPA dengan Sistem Koagulasi-Biofilter anaerobic*. BPPT : 5.
- Tchobanoglous, dkk. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse Fourth Edition*. New York : McGraw-Hill.
- Tizaoui, C., dkk. 2007. *Landfill Leachate Treatment With Ozone and Ozone/Hydrogen Peroxide System*. Journal of Hazardous Materials 140 (2007) 319-324.
- USEPA, 1999. *Ozone*. EPA Guidance Manual. Alternative Disinfectants and Oxidants.