

Perancangan Reaktor Kontinu pada Pengolahan Lindi Berbasis Ozon

DEWI KOMALASARI, M. RANGGA SURURI, SITI AINUN

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITENAS Bandung

Email : dkomalasari.dk@gmail.com

ABSTRAK

Pengolahan lindi TPA Sarimukti dengan metode Advanced Oxidation Process (ozon/H₂O₂) 1,197 gr/L menyisihkan kekeruhan 1 liter lindi sebesar 91,59% selama 3 jam dengan reaktor semi-batch. Sistem semi batch ini memiliki keterbatasan karena hanya mampu mengolah lindi sebanyak 1 liter selama 180 menit. Penelitian ini merancang reaktor kontinu agar dapat diaplikasikan ke skala sebenarnya dengan merancang dua jenis reaktor, yaitu static mixer dan ozone contactor. Static mixer berfungsi sebagai pencampur ozon dan lindi secara statis, dan dilakukan uji visual terhadap gelembung yang terbentuk. Kemudian dilakukan penentuan debit aliran lindi di dalam reaktor pada berbagai kemiringan sudut. Selain itu perancangan ozone contactor, dilakukan dengan memodifikasi reaktor semi batch dengan volume 1,5 liter dengan dimensi; diameter 9,5 cm dan tinggi 30 cm, menjadi reaktor kontinu jenis counter co-current contactor. Modifikasi dilakukan dengan memasang baffle pada reaktor semi batch. Dimensi baffle ditentukan dengan metode pendekatan perhitungan vertical baffled flocculation. Berdasarkan hasil uji visual gelembung static mixer, dimensi static mixer adalah sebagai berikut: diameter 0,8 cm, jarak antar baffle sebesar 0,5 cm, dan adanya gelembung berdiameter 1 mm dengan kecepatan pengadukan 0,049 detik/cm. Kemiringan sudut yang terbentuk pada uji visual static mixer adalah 90° dan menjadikan penentuan debit terpilih adalah 102,67 mL/detik. Dimensi pada ozone contactor: jarak antara baffle dan dasar reaktor; jarak antara baffle dan bagian tutup reaktor adalah 2 mm. Selain itu waktu detensi lindi di dalam ozone contactor adalah 6,25 menit.

Kata Kunci : Lindi, ozone contactor, Static mixer, Reaktor Kontinu

ABSTRACT

Landfill leachate treatment methods Sarimukti with Advanced Oxidation Process (ozone / H₂O₂) 1,197 g/liter has turbidity removal efficiency of 1 liter of leachate; 91.59% for 3 hours with a semi batch reactor. Semi batch system has limitations because it is only able to process 1 liter of leachate for 180 minutes. This study designed a continuous reactor that can be applied to the actual scale, by designing two types of reactors; static mixers and ozone contactor. Static mixer's function is to mix the ozone and the leachate statically, then conducted a visual test of the bubble forming. Then conducted to determine the leachate flow rate in the reactor at various angles. Beside that, the design of ozone contactor, is done by modifying the semi-batch reactor with a volume of 1.5 liters with dimensions; diameter 9.5 cm and height 30 cm, to be a continuous reactor type counter co-current contactor. The modifications done by installing baffles in the semi-batch reactor. Baffle dimension determined by the mathematics calculation of the vertical baffled flocculation method. This calculation is done in order to determine the leachate detention time in the ozone contactor. Based on the visual test results of bubble forming of static mixer, static mixer dimensions are as follows: diameter of 0.8 cm, the distance between the baffles of 0.5 cm, and the 1 mm diameter bubble with a stirring velocity 0.049 sec/cm. The angle that formed on the visual test is a static mixer 90° and makes the determination of the selected discharge is 102.67 mL/sec. Dimensions in ozone contactor: the distance between the baffle and the bottom of the reactor; the distance between the baffle and the lid of the reactor are 2 mm. In addition leachate detention time in the ozone contactor is 6.25 minutes.

Key Words : Leachate, Ozone Contactor, Static mixer, Continuous Reactor

1. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk yang terus meningkat menyebabkan berbagai dampak, seperti meningkatnya jumlah timbunan sampah. Kumpulan sampah pada TPA Sarimukti jika terkena kontak langsung dengan air hujan atau dengan cairan lainnya, maka akan membentuk cairan yang disebut lindi. Lindi adalah cairan yang biasanya mengalir dari TPA karena infiltrasi air dan/atau proses dekomposisi biogeokimia yang dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan, seperti tanah dan badan air (Hasan dan Alam, 2013).

Penelitian Nuriana tahun 2015 menyebutkan bahwa, penyisihan kekeruhan lindi sebanyak 1 liter dengan metode Advance Oxidation Process (AOP) 1,197 gr/liter selama 180 menit dengan menggunakan reaktor semi batch adalah 91,59%. Sistem ini memiliki keterbatasan karena hanya mampu mengolah lindi sebanyak 1 liter selama 180 menit. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dari pengolahan sistem semibatch, yaitu pengolahan lindi secara kontinu. Pada pengolahan kontinu, lindi dapat mengalir secara terus-menerus, sehingga jumlah lindi yang terolah lebih banyak per satuan waktu, dibandingkan pengolahan dengan sistem semibatch. Perancangan reaktor kontinu berbasis ozon skala laboratorium akan menjadi langkah awal sistem pengolahan kontinu yang dapat diaplikasikan pada skala yang sebenarnya di TPA Sarimukti.

Reaktor semi batch yang digunakan dalam penelitian Nuriana (2015), berbentuk silinder dengan diameter 10 cm, tinggi 30 cm, dan bubble diffuser yang diletakkan pada dasar reaktor. Penelitian ini memodifikasi reaktor semi batch yang sudah ada menjadi reaktor kontinu. Pada pengolahan lindi dengan sistem semi batch hanya menggunakan 1 inlet ozon untuk berdifusi dengan lindi, sehingga menjadikan waktu tinggal lindi di dalam reaktor hanya berlangsung selama 180 menit. Keterbatasan difusi pada reaktor semi batch ini akan diteliti lebih lanjut, dengan merancang sistem pengolahan kontinu yang menggunakan lebih dari 1 jenis reaktor agar pengolahan lindi dapat berlangsung lebih optimal. Adapun penelitian ini menggunakan dua jenis reaktor, yaitu static mixer, dan ozone contactor yang memanfaatkan kemampuan difusi antara ozon dan lindi.

Static mixer berfungsi sebagai tempat bagi lindi dan ozon untuk dapat berdifusi dengan pengadukan kecepatan statis. Penempatan static mixer sebagai tempat lindi mengalir dirancang sebelum ozone contactor, yang bertujuan untuk meringankan beban pengolahan lindi pada ozone contactor. Dengan pengadukan secara statis pada static mixer, lindi dan ozon dapat berdifusi dengan lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan reaktor semi batch.

Penelitian ini juga memodifikasi reaktor semi-batch yang digunakan oleh Nuriana menjadi ozone contactor dengan jenis counter co-current contactor. Counter co-current contactor adalah reaktor tempat gas berkontak dengan fluida yang diberi vertical baffle agar difusi dan pengadukan terjadi pada tekanan yang berasal dari bubble diffuser. Sementara baffle berfungsi sebagai dinding penahan pengadukan lindi pada saat ozon keluar dari bubble diffuser agar difusi tidak mengganggu bagian lain pada ozone contactor. Dengan diubahnya reaktor semi batch yang digunakan oleh Nuriana (2015), menjadi ozone counter co-current contactor, maka dalam penelitian ini dilakukan penetapan waktu detensi di dalam ozone contactor tersebut. Selain itu pada reaktor semi batch, ozon diinjeksikan secara terus menerus, sedangkan lindi dimasukkan secara langsung sebanyak 1 liter. Namun pada reaktor kontinu, terdapat aliran lindi pada sepanjang rangkaian reaktor. Dengan adanya aliran pada reaktor tersebut, maka perlu dilakukan penetapan debit aliran agar proses pengolahan berlangsung secara kontinu.

2. METODOLOGI

2.1 Pengukuran Debit

Pengukuran debit aliran adalah dengan menggunakan air keran. Pengukuran debit dilakukan berdasarkan kemiringan selang yang dilakukan secara manual berdasarkan variasi sudut. Selanjutnya dari sudut yang terbentuk diperoleh debit yang berbeda. Pengukuran debit dilakukan dengan memasang wadah bervolume 1 liter yang tersambung dengan selang sepanjang 1 meter. Setelah diperoleh variasi kemiringan selang, kemudian dilakukan pengukuran waktu alirannya. Selanjutnya debit aliran dapat diketahui dengan membagi volume air per satuan waktu.

Pada pengukuran debit ini diameter selang sebesar 1 cm, panjang selang, dan volume air menjadi variabel terikat, yaitu ukuran dan dimensinya tidak berubah. Sedangkan perbedaan ketinggian, dan jarak antara inlet dan outlet menjadi variabel bebas, yaitu posisi dan peletakkannya berubah. Kombinasi antara variabel bebas dan terikat ini menjadi variasi yang digunakan untuk penetapan debit aliran.

2.2 Perancangan Static Mixer

Static mixer dirancang dengan menerapkan prinsip ventury meter, yang merupakan sebuah pipa yang memiliki penampang dengan kondisi lebih sempit pada bagian tengahnya dan diposisikan mendatar dengan dilengkapi dengan pipa pengendali untuk mengetahui permukaan air. Static mixer diberi selang dengan diameter yang lebih kecil sebagai tempat penginjeksian ozon menuju selang static mixer yang berisikan lindi. Kemudian plat yang berfungsi sebagai baffle dimasukkan ke dalam selang static mixer. Baffle ini berfungsi sebagai pengaduk statis bagi lindi dan ozon. Selanjutnya pengadukan tersebut dapat menyebabkan difusi antar dua fasa ini berlangsung dengan baik. Untuk menguji kualitas pengadukan pada static mixer, dilakukan pengamatan secara visual pada gelembung yang dihasilkan. Parameter keberhasilan uji kualitas static mixer adalah gelembung yang dihasilkan berukuran kecil dan menyebar. Gelembung yang berukuran kecil dan banyak diasumsikan memiliki luas permukaan yang lebih luas dibandingkan luas permukaan gelembung yang besar dan tidak banyak. Semakin luas permukaan gelembung, maka semakin baik kemampuan difusi gelembung tersebut, seperti yang dijelaskan pada hukum Fick ke-2 mengenai luas permukaan partikel (Geankoplis, 1993). Ketersebaran gelembung diasumsikan apabila gelembung menyebar maka akan terjadi turbulensi lindi pada ozone contactor. Turbulensi lindi ini dapat membantu pengadukan antara lindi dan ozon dalam ozone contactor.

Perancangan dimensi static mixer berhubungan erat dengan pengujian kualitas static mixer. Penentuan dimensi static mixer meliputi variasi diameter selang, kemiringan selang, debit air pada selang, jarak antar baffle, dan jumlah baffle. Variasi perancangan static mixer dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian kualitas dilakukan pada setiap variasi. Jika terbentuk gelembung yang berukuran kecil dan menyebar, maka dimensi static mixer telah dapat ditentukan.

Tabel 1. Variasi Perancangan Static Mixer

No	Diameter Selang (cm)	Jarak Tiap Plat (cm)	Panjang Plat (cm)	Jumlah Plat
1	1	2,0	10	5
2		1,0	10	10
3		1,5	15	10
4	0.5	0,5	20	40
5		2,0	20	10
6		2,0	20	10
7	0.8	1,0	20	20
8		1,5	20	13
9		0,5	20	40

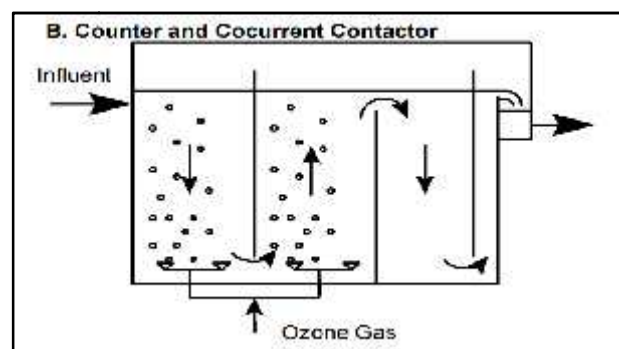
Sumber : Analisa, 2015

Untuk menghasilkan gelembung yang memenuhi kriteria pada perancangan static mixer, perlu mengkombinasikan variasi pengukuran debit dan kemiringan aliran. Dengan kemiringan tertentu maka akan terbentuk gelembung yang baik, sehingga debit aliran dan dimensi static mixer dapat ditetapkan.

2.3 Perancangan Ozone Contactor

Setelah memperoleh dimensi ideal untuk static mixer, langkah selanjutnya adalah merancang ozone contactor yang dilakukan dengan memadukan sistem vertical baffle flocculation dengan bubble diffuser. Metode bubble diffuser ini menawarkan keuntungan, yaitu nilai transfer ozon yang tinggi, proses yang fleksibel, pengoperasian yang sederhana, dan tanpa adanya bagian yang bergerak (Langlais dalam USEPA, 1999).

Ozone contactor didesain dengan memodifikasi reaktor semi batch yang digunakan oleh Nuriana (2015). Ozone contactor yang digunakan adalah jenis counter co-current contactor, dengan cara membuat vertical baffle pada bagian dalam reaktor. Untuk mengetahui dimensi vertical baffle dilakukan perhitungan matematis dengan pendekatan perhitungan horizontal baffle flocculation (Kawamura, 2000). Arah aliran inlet jenis ini tegak lurus dengan ozon yang didifusikan. Influen ozon kontaktor berasal dari static mixer yang sudah berisikan ozon sedangkan gas ozon murni yang terbentuk di ozone generator. Desain ozone contactor dapat dilihat pada Gambar 1. Ozone contactor ini dimodifikasi menjadi jenis counter co-current contactor. Selain itu dalam merancang Ozone contactor harus memerhatikan faktor kriteria desain ozone contactor yang dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Desain Counter and Co-current Contactor

Sumber : US EPA, 1999

Tabel 2. Kriteria Desain Ozon Kontaktor

Parameter	Satuan	Nilai	Sumber
G x Td		10 ⁴ -10 ⁵	Droste, 1997
Gradien Kecepatan, G	detik ⁻¹	20 - 120	Droste, 1998
Waktu detensi, Td	menit	15 - 45	Droste, 1999
Kecepatan aliran dalam bak, v	m/s	0,1 - 0,4	Huisman, 1981
Jarak antar baffle, l	m	>0,45	Schulz & Okun, 1984
Koefisien gesekan, k		2 - 3,5	Bhargava & Ojha, 1993
Banyak saluran N		≥6	Kawamura, 2000

Sumber : USEPA, 1999

2.4 Alat Pendukung Penelitian

2.4.1 Aerator

Aerator adalah alat untuk menangkap oksigen yang terdapat pada udara bebas. Aerator yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis aquarium air pump dengan merk "Nine Star" tipe PS 950. Aerator yang digunakan dalam penelitian ini akan disambungkan ke ozon generator sebagai suplai ozon pada static mixer.

2.4.2 Flow meter

Flow meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur debit oksigen yang telah ditangkap dari udara bebas oleh aerator dan air compressor. Debit udara yang diinginkan dapat diatur pada valve yang terdapat pada aerator ataupun air compressor.

2.4.3 Ozon Generator

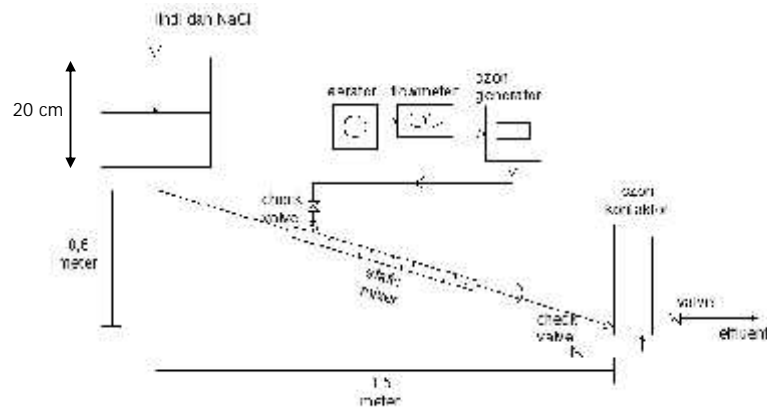
Ozon generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah oksigen dari udara bebas yang ditangkap oleh aerator menjadi ozon dengan prinsip Plasma Corona Discharged. Ozon generator yang ke-2 memiliki daya sebesar 220 volt dengan merk "Ozone Technic" tipe OZF-1G. Ozon yang dihasilkan dengan ozon generator ini kemudian disalurkan ke static mixer.

2.4.4 Check Valve

Check Valve adalah alat yang digunakan untuk menjaga aliran lindi tidak masuk ke arah selang outlet ozon generator pada saat penginjeksian ozon

3 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Peletakan static mixer dan ozone contactor pada rangkaian kontinu perlu memerhatikan beda ketinggian agar tidak terjadi aliran balik ke arah inlet. Peletakan padarangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Reaktor Kontinu pada Pengolahan Lindi

3.1 Perancangan Static Mixer

Proses pembuatan dan pengujian static mixer, menggunakan sampel air dan oksigen yang diperoleh dari aerator. Setelah static mixer layak digunakan, sampel air tersebut diganti dengan lindi TPA Sarimukti, sementara oksigen yang digunakan diganti dengan ozon. Media yang digunakan dalam pembuatan static mixer pertama kali adalah dengan menggunakan selang. Pada bagian dalam selang dibuat baffleyang terbuat dariplat alumunium yang berguna sebagai tempat pengadukan statis antara air dan gas. Diameter selang, kemiringan selang, debit air pada selang, jarak antar baffle, dan jumlah bafflesecara keseluruhan yang dibuat perlu diatur untuk menghasilkan gelembung yang diinginkan.

Selain itu, dalam perancangan static mixerperlu memerhatikan faktor kemiringan selang dan debit air pada selang. Oleh karena itu dilakukan pengukuran debit aliran dalam sistem reaktor kontinu. Pengukuran debit aliran dilakukan secara manual dengan variasi sudut. Dari sudut yang terbentuk didapatkan debit yang berbeda pula. Variasi debit ini digunakan sebagai perbandingan untuk menemukan hasil terbaik dari gelembung yang terbentuk.

Dalam Geankoplis (1993), menjelaskan hukum Fick ke-2 bahwa kemampuan difusifitas bergantung pada temperatur, tekanan, dan komposisi sistem. Oleh karena itu dalam pembuatan static mixer perlu memperhatikan faktor tekanan agar difusifitas gas ke dalam likuida berlangsung dengan baik. Agar tekanan yang dihasilkan tidak memerlukan energi tambahan, static mixer dibuat dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian.

Pengukuran debit dilakukan dengan memasang wadah bervolume 1 liter yang tersambung dengan selang sepanjang 1 meter. Kemudian dengan berbagai ketinggian diukur waktu alirannya. Setelah itu dapat diketahui debit aliran dengan membagi volume air per satuan waktu. Nilai debit aliran berbagai kemiringan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Debit dengan Berbagai Sudut

No	Diameter selang (cm)	Ketinggian inlet (cm)	Ketinggian outlet (cm)	Beda ketinggian (cm)	Jarak antar inlet dan outlet (cm)	Panjang Selang (m)	Volume (L)	Sudut yang terbentuk ^o	Waktu yang dibutuhkan untuk melalui selang (detik)	Debit (mL/det)
	d	Y ₁	Y ₂	Y	X	P	V	S	T	Q
1	1	110,55	10,5	100,05	0	1	1	90,00	9,74	102,70
2	1	90,00	10,5	79,50	60,5	1	1	52,77	10,29	97,18
3	1	66,00	10,5	55,50	82,5	1	1	34,40	14,05	71,42
4	1	50,00	10,5	39,50	92,0	1	1	23,87	19,06	52,46

Sumber : Hasil pengukuran dan perhitungan, 2015

Semakin kecil jarak antar plat, semakin banyak plat yang digunakan semakin baik kualitas bubble yang terbentuk. Selain itu perlu juga memperhatikan diameter selang agar tidak terjadi aliran balik yang mengakibatkan air tidak mengalir. Oleh karena itu pengujian static mixer ini dilakukan berulang kali untuk menemukan dimensi ideal. Dimensi ideal static mixer yang telah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Static mixer

Dimensi static mixer yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian karakteristik gelembung terbaik, adalah sebagai berikut :

- Diameter selang : 0.8 cm
- Jarak antar plat : 0.5 cm
- Panjang plat : 20 cm
- Panjang selang : 1 m
- Diameter inlet gas : 0,5 cm

Berdasarkan uji kualitas static mixer, karakteristik gelembung yang didapatkan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Ukuran diameter gelembung : ± 1 mm
- Kecepatan floating gelembung : ± 0.39 detik/ 8 cm = ± 0.049 detik/cm

3.2 Penentuan Waktu Detensi Ozone Contactor

Dimensi baffle yang ditempatkan pada bagian dalam reaktor didapatkan berdasarkan perhitungan head loss dengan pendekatan horizontal baffled flocculation process (Kawamura, 2000). Dimensi ozone contactor dapat diketahui dengan perhitungan volume tabung, karena ozone contactor tersebut adalah reaktor semi batch yang digunakan oleh Nuriana (2015).

Oleh karena itu pendekatan perhitungan oleh Kawamura (2000), dilakukan untuk mencari waktu tinggal lindi di dalam ozone contactor.

Diketahui

- Debit air (Q) : $1,02 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$
- Tinggi reaktor (t) : 30 cm
- Diameter dalam reaktor (D) : 9,5 cm
- Minimum match temperature : $10^{\circ}\text{c} \rightarrow$ viscosity () $1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
(Reynold dan Richards, 1996)

1. Volume ozon kontaktor

Volume tangki

$$Vol\ tot = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot t = \frac{1}{4} \pi (9,5 \text{ cm})^2 \cdot 30 \text{ cm} = 2126,5 \text{ cm}^3 = 2,216 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

2. Head loss

Gradien kecepatan (G) : $10 - 60 \text{ det}^{-1} \rightarrow$ diasumsikan 40 det^{-1} (Kawamura, 2000)

Head loss total

$$h = \frac{G^2 \cdot U \cdot Vol\ tot}{g \cdot Q} = \frac{\left(\frac{40}{\text{det}}\right)^2 \cdot 1,3 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 2,216 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{det}^2} \cdot 1,02 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{det}}} = 0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

3. Penentuan Waktu Tinggal (Td)

G.Td : $10^4 - 10^5 \rightarrow$ diasumsikan 15000

Gradien kecepatan (G) : $10 - 60 \text{ det}^{-1} \rightarrow$ diasumsikan 40 det^{-1} (Kawamura, 2000)

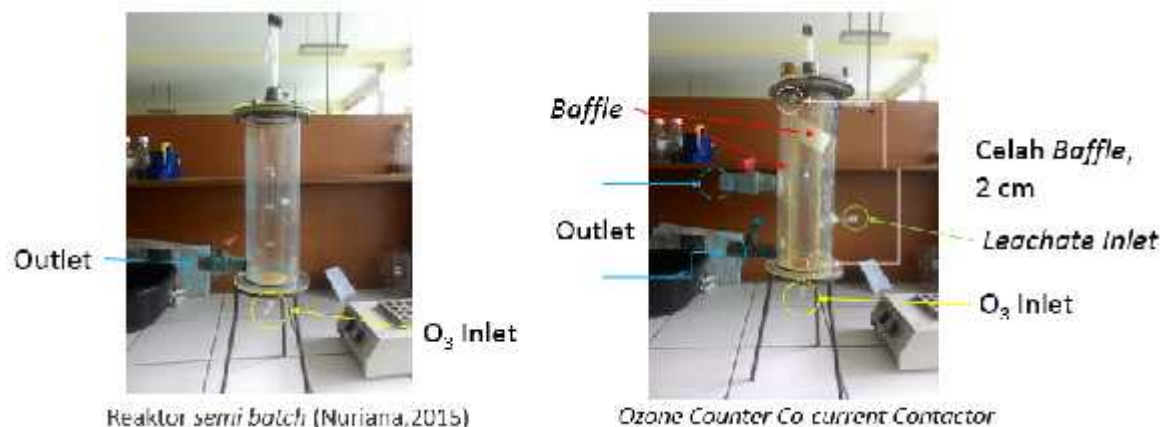
$$G \cdot Td = 15000$$

$$\frac{40}{\text{s}} \cdot Td = 15000$$

$$Td = 375 \text{ s} = 6,25 \text{ menit}$$

Jadi waktu detensi lindi dalam ozone contactor adalah 6,25 menit.

Perbandingan dimensi reaktor semi batch dan ozone counter co-current contactor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Reaktor Semi Batch dan Ozone Counter Co-current Contactor

Sesuai perhitungan tersebut, waktu detensi pada ozone contactor adalah selama 6,25 menit. Dalam desain ini memiliki beberapa kekurangan yaitu tidak memperhitungkan faktor busa

yang dihasilkan oleh ozon terhadap lindi, dan tidak memperhitungkan faktor perubahan dari horizontal baffled flocculation process oleh Kawamura (2000), menjadi vertical baffled.

Waktu detensi pada ozone contactor sebesar 6,25 menit sudah layak digunakan. Karena waktu detensi ini sesuai dengan waktu detensi yang telah diuji dengan tracer test ; slug input of tracer (NaCl, 5gr/liter). Performa hidraulika ozone contactor yang diuji dengan tracer test ini, memiliki nilai Morril Dispersion Index (MDI) sebesar 4,4. Nilai ini merepresentasikan bahwa ozone contactor bersifat Plug Flow Reactor. Pengujian performa hidraulika dalam jurnal ini tidak dibahas lebih lanjut.

3 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji visual gelembung static mixer, dimensi static mixer adalah sebagai berikut: diameter 0,8 cm, jarak antar baffle sebesar 0,5 cm, dan adanya gelembung berdiameter ± 1 mm dengan kecepatan pengadukan ± 0.049 detik/cm. Pada saat perancangan static mixer, semakin dekat jarak antar plat maka gelembung yang terbentuk semakin kecil dan menyebar. Kemiringan sudut yang terbentuk pada uji visual static mixer adalah 90° dan menjadikan penentuan debit terpilih adalah 102,67 mL/detik. Dimensi pada ozone contactor: jarak antara baffle dan dasar reaktor; jarak antara baffle dan bagian tutup reaktor adalah 2 mm; diameter 9,5 cm, tinggi 30 cm dan volume 1,5 liter. Selain itu waktu detensi lindi di dalam ozone contactor adalah 6,25 menit, yang menandakan bahwa ozone contactor layak secara hidraulika berdasarkan hasil tracer test (NaCl 5 gr/liter).

DAFTAR PUSTAKA

- Geankoplis, Christie J. (1993). Transport Processes and Unit Operations. Ohio : Ohio State University.
- Hasan, Md.Hasibul and Alam, Salma. (2013). Effect of Leachate on Surrounding Surface Water: Case Study in Rajbandh Sanitary Landfill Site in Khulna City, Bangladesh. Khulna: Khulna University of Engineering & Technology.
- Jung, A.R and Jeong, H.Y (2004). Journal of Environmental Engineering – Mass Transfer Characteristic and Overall Mass Transfer Coefficient in the Ozon Contactor. Busan : Pusan National University.
- Kawamura, Susumu. (2000). Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. New Jersey : John Wiley and Sons
- Nuriana, Wulan. (2015). Pengolahan Lindi TPA Sarimukti dengan Menggunakan Ozonisasi Konvensional dan Advanced Oxidation Process (AOP) Tipe Ozon/H₂O₂. Itenas : Bandung
- Reynolds, Ton D. dan Richards, Paul A. (1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2nd edition, PWS Publishing Company, Boston.
- Rich, Linvil G. (1971). Unit Operations of Sanitary Engineering. Illinois : Illinois Institute of Technology.
- Tchobanoglous, George. (2003). Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse, 3rd edition. New York : Metcalf & Eddy, Inc. McGraw-Hill, Inc.
- Tembhurkar, A.R and Mhaisalkar, V.A. (2006). Journal of Environmental Engineering - Study of Hydrodynamic Behavior of a Laboratory Scale Upflow Anaerobic Fixed Film Fixed Bed Reactor. Nagpur : Visvesvaraya National Institute of Technology.
- USEPA. (1999). Ozone. Alternative Disinfectants and Oxidants
- Yoon, J.H. (1999). Decomposition of Microcystin-LR by Ozonation in Cylindrical Reactor. Busan : Pusan National University.