

STUDI POTENSI PENYISIHAN ORGANIK PADA EFLUEN IPAL DOMESTIK DENGAN PENGGUNAAN *CONSTRUCTED WETLAND* (Studi Kasus : IPAL Bojongsoang, Bandung)

Yandes Panelin

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Presiden
Jalan Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, West Java 17550
yandespanelin@gmail.com

Abstrak : Sebagian besar air digunakan sebagai air pembilas, sebagai contoh air bersih yang digunakan untuk mandi, cuci tangan, mencuci baju, dan lainnya, sekitar 70-80 % pemakaian air bersih akan berubah menjadi air limbah domestik. Seiring dengan peningkatan kebutuhan air, maka kebutuhan air baku untuk diproses semakin meningkat pula. Namun, peningkatan kebutuhan akan air baku ini tidak diikuti dengan peningkatan persediaan air baku, baik secara kualitas maupun kuantitas. Kondisi tersebut mendorong upaya untuk mencari alternatif sumber air baku lainnya yang lebih terjamin dari segi kualitas dan kuantitas. Salah satu upayanya yaitu dengan memanfaatkan kembali (reuse) efluen hasil pengolahan air limbah. Teknologi yang akan digunakan untuk pengolahan haruslah teknologi yang murah, tepat guna, dan tidak terlalu susah dalam perawatannya. Salah satu teknologi yang bisa digunakan adalah *constructed wetland*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur efisiensi pengolahan dan menentukan kondisi operasi yang optimum dalam pengolahan efluen IPAL Bojongsoang. Penelitian ini dilakukan di laboratorium menggunakan *constructed wetland* menggunakan jenis tanaman *Typha latifolia*. Variasi yang digunakan adalah variasi waktu detensi (1, 3, & 5 hari). Tipe reaktor yang digunakan adalah *constructed wetland* dengan aerasi & tanpa aerasi. Masing-masing reaktor diberikan umpan air limbah efluen IPAL Bojongsoang. Parameter yang diperiksa adalah COD dan BOD, pH, dan temperatur. Pengukuran parameter COD, pH, dan temperatur dilakukan setiap hari, sedangkan parameter BOD dilakukan setelah reaktor dalam kondisi steady state. Berdasarkan pengukuran, diketahui bahwa penyisihan organik paling baik terjadi pada waktu detensi 5 hari dengan efisiensi 91,2-94,9 %. Reaktor dengan penambahan aerasi dapat menyisihkan parameter COD lebih baik dibandingkan tanpa aerasi, dengan signifikansi yang cukup baik pada waktu detensi 1 hari.

Kata kunci : air limbah domestik, *constructed wetland*, daur ulang, kondisi optimum

Abstract: Most of water we used as rinse water, for example water used for bathing, for washing hands, to wash clothes, and more, approximately 70-80% of water consumption will turn into gray water. Along with the increasing water demand, the raw water needs to be processed is increasing as well. However, the increasing need for raw water is not followed by an increase in raw water, both in quality and quantity. These conditions encourage efforts to find alternative sources of raw water which more secure than others in terms of quality and quantity. One of its efforts is by making use again (reuse) effluent from wastewater treatment. The technology will be used to process must be cheap, effective, and not difficult in treatment. Technology used in this study is *constructed wetland*. The purpose of this research is measuring the treatment efficiency, determining the optimum operating conditions, determining the criteria for water reuse. This research is conducted in the laboratory using a *constructed wetland* with type of plant is *Typha latifolia*. Variations are made in this study are detention time (1day, 3days and 5 days) and type of reactors (*constructed wetland* & aerated *constructed wetland*). Each reactor is given wastewater feed derived from effluent of WWTP Bojongsoang. Parameters examined in this study are COD, BOD, pH, and temperature. Measurement of COD, pH, and temperature conducted every day, while the BOD parameter are done after the reactor reaching steady state conditions. Based on the measurements, it is known that the best detention time to remove organic matter is at 5 days with efficiency between 91,2-94,9%. Aerated *constructed wetland* can remove organic matter better than non-aerated reactor, with good significance removal at 1 day detention time.

Key Words: *constructed wetland*, gray water, optimum conditions, water reuse.

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap air cenderung terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan peningkatan taraf hidup. Seiring dengan peningkatan

kebutuhan air ini, maka kebutuhan akan air baku untuk diproses semakin meningkat pula. Namun, peningkatan kebutuhan akan air baku ini tidak diikuti dengan

peningkatan air baku, baik secara kualitas maupun kuantitas.

Sumber-sumber air baku yang potensial, khususnya diperkotaan adalah air tanah, air sungai, dan badan air lainnya. Namun kualitas dan kuantitas nya tidak terjamin, dan kadang harus didatangkan dari luar daerahnya. Kondisi sumber air baku tersebut, mendorong upaya untuk mencari sumber air baku lainnya yang lebih terjamin dari segi kualitas dan kuantitas. Salah satu upayanya yaitu dengan memanfaatkan kembali (*reuse*) air hasil pengolahan limbah.

Sebagian besar air digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai air pembilas, sebagai contoh air bersih yang digunakan untuk mandi, untuk cuci tangan, untuk mencuci baju dan lainnya. Sekitar 70-80 % pemakaian air bersih akan berubah menjadi air limbah domestik. Dengan melihat banyaknya penggunaan air untuk membilas, maka teknologi daur ulang air yang berasal dari limbah domestik menjadi salah satu alternatif untuk menambah persediaan air diluar kebutuhan air minum. Konsep daur ulang

air mengambil dari konsep bahwa pemakaian air hasil daur ulang harus sesuai dengan peruntukannya. Strategi dalam pemanfaatan kembali air limbah dapat dilakukan dengan prinsip *wastewater reuse* atau *wastewater recycling*.

Teknologi yang akan digunakan untuk mengolah kembali air limbah domestik ini haruslah teknologi yang murah, tepat guna, dan tidak terlalu susah dalam perawatannya. Salah satu teknologi yang bisa digunakan adalah lahan basah buatan (*constructed wetland*). *Constructed wetland* dapat mengolah pencemar organik yang berasal dari limbah domestik dengan lebih baik daripada limbah jenis lain (Vymazal, 2008). Banyak jenis dari teknologi *constructed wetland* ini, maka diperlukan suatu studi untuk mendapatkan teknologi *constructed wetland* yang tepat. Pada studi ini digunakan efluen dari kolam maturasi IPAL Bojongsoang, Bandung. Berikut pada **Tabel 1** adalah beberapa data penelitian mengenai *wetland* dalam menyisihkan organik.

Tabel 1. Kemampuan *wetland* dalam menyisihkan COD

Jenis Limbah Cair	Sistem pengolahan	Efisiensi (%)	Keterangan
Domestik	Kombinasi, dua <i>Surface Flow Wetland</i>	59,9	(Yeh, 2006)
Domestik	Kombinasi, SSF dan <i>Surface Flow Wetland</i>	85,56	(Soeprijanto, 2005)
Domestik	<i>Free Water System</i>	37,43-42,43	(Nurul, 2009)
Domestik	3 Stage HSF	93,6	(Merlin, 2002)
Domestik	<i>Integrated Constructed Wetland</i>	89,1 & 97	(Kayranli,2010)
Lindi	<i>Free Water Surface Wetland</i>	99,5	(Wojciechowska, 2010)

Definisi *wetland* sangat beragam, diantaranya adalah suatu lahan yang jenuh air dengan kedalaman air tipikal kurang dari 0,6 m yang mendukung pertumbuhan tanaman air *emergent* misalnya cattail, bulrush, umbrella plant dan canna (Metcalf dan Eddy, 1991). Sementara definisi dari *Constructed wetland* merupakan sistem

pengolahan terencana atau terkontrol yang telah didesain dan dibangun dengan menggunakan proses alami yang melibatkan vegetasi *wetland*, tanah, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Setiyawan, 2007). Metode ini memungkinkan pengolahan limbah yang murah, efektif, dan ramah lingkungan.

Proses pengolahan yang terjadi pada sistem ini adalah filtrasi oleh akar-akar tanaman terhadap tanah dan bahan organik.

Tipe pengaliran air limbah pada *constructed wetland* umumnya secara horizontal, karena jenis ini memiliki efisiensi pengolahan terhadap suspended solid dan bakteri yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe yang lain. Hal ini disebabkan karena daya filtrasinya lebih baik. Penurunan BOD-nya juga lebih baik karena kapasitas transfer oksigen lebih besar.

Air limbah yang telah diolah dengan *constructed wetland* harus memenuhi standar kualitas air yang berlaku sebelum digunakan kembali sebagai alternatif air baku. Oleh karena itu, pengolahan fisika kimia dilakukan untuk menyempurnakan kualitas efluen yang dihasilkan. Pengolahan yang dilakukan umumnya merupakan desinfeksi, sehingga air yang digunakan kembali memiliki kualitas yang layak sesuai standar yang berlaku.

METODOLOGI

Lokasi yang dipilih sebagai tempat pengambilan sampel adalah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Bojongsoang. Lokasi ini dipilih dikarenakan instalasi pengolahan limbah domestik satu-satunya yang terdapat di Bandung, dan karakteristik efluen dari kolam maturasi (*maturation pond*) ini beberapa parameternya masih melebihi baku mutu. Diharapkan melalui penelitian ini, dapat menurunkan parameter tersebut secara signifikan.

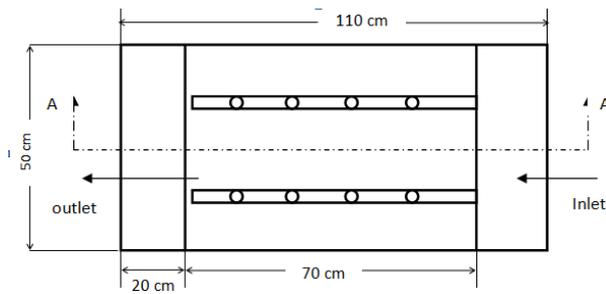
Tanaman yang dipilih dalam penelitian ini adalah *Typha Latifolia*. Alasan tanaman tersebut dipilih dikarenakan tanaman ini hidup liar sehingga tidak membutuhkan perawatan secara khusus, dan mudah ditemukan di berbagai daerah. Tanaman tersebut diambil di daerah Garut. Tanaman tersebut tumbuh di daerah lahan pertanian dan daerah rawa-rawa.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran konsentrasi pencemar sebelum diolah kedalam reaktor. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari pencemar yang akan diolah oleh reaktor *constructed wetland*.

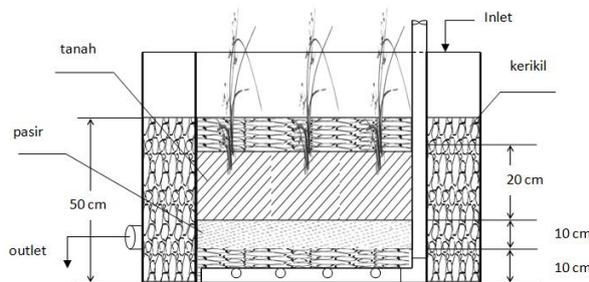
Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran tanah, pasir dan kerikil yang terstratifikasi. Tanah yang digunakan adalah tanah dari Lembang tanpa penambahan pupuk, sehingga tidak mempengaruhi efluen yang akan diperiksa. Alasan penggunaan tanah Lembang karena tanah tersebut subur dan banyak mengandung unsur hara yang baik untuk tanaman. Pasir dan kerikil yang digunakan berasal dari Sungai Cikapundung.

Tahap penjenjuran dilakukan pada awal pengaliran limbah. Pada tahap ini reaktor diisi dengan air keran hingga air menggenangi permukaan lalu dibiarkan hingga pori-pori antar partikel media terisi penuh oleh air, biasanya membutuhkan waktu beberapa hari. Tanah menjadi jenuh apabila tinggi muka air tidak turun lagi, yang disebabkan seluruh air telah mengisi pori-pori tanah. Setelah tanah jenuh dengan air maka, reaktor siap untuk dialirkan limbah.

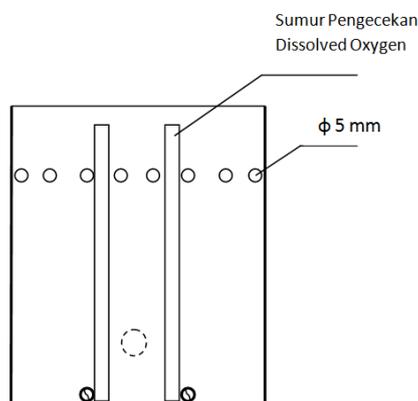
Reaktor dibagi menjadi tiga kompartemen yang terdiri dari zona inlet, zona pengolahan dan zona outlet. Panjang zona inlet dan outlet 0,2 m dan panjang zona pengolahan 0,7 m dengan lebar 0,5 m. Antara zona inlet-zona pengolahan-zona outlet diberi sekat berlubang dengan diameter lubang 0,5 cm. Zona inlet dan outlet diisi dengan kerikil yang memiliki ukuran seragam dengan diameter 2 cm. Zona pengolahan diisi dengan media tanah, pasir, kerikil, dan tanaman dengan kedalaman total media 50 cm. Volume dari zona pengolahan yaitu 140 liter. Pada zona outlet dibuat lubang outlet dengan ketinggian 15 cm dari permukaan reaktor. Kemiringan setiap reaktor adalah 0,1%. Gambar reaktor, potongan melintang dan membujur dapat dilihat pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 1. Skema reaktor *constructed wetland*

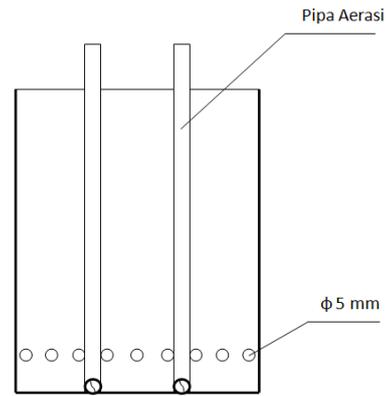


Gambar 2. Potongan A-A reaktor



Gambar 3. Potongan B-B reaktor

Umpan limbah berasal dari efluen IPAL Bojongsoang Bandung. Umpan dialirkan secara paralel dari penampung limbah kedalam zona inlet dari masing-masing reaktor menggunakan sebuah pompa diafragma. Debit pengaliran kedalam zona inlet reaktor disesuaikan sesuai dengan variasi waktu detensi. Untuk waktu detensi 1 hari debit pengalirannya adalah 0,567 ml/detik, untuk waktu detensi 3 hari debit pengalirannya adalah 0,189 ml/detik dan untuk waktu detensi 5 hari debit pengalirannya adalah 0,113 ml/detik.



Gambar 4. Potongan C-C reaktor

Pada penelitian ini digunakan empat reaktor *Horizontal Subsurface Flow System*. Dua reaktor merupakan reaktor *aerated wetland*.

- Reaktor A : tanaman *Typha Latifolia* tanpa penambahan aerator
- Reaktor B : tanaman *Typha Latifolia* dengan penambahan aerator

Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi parameter. Variasi pertama adalah variasi waktu detensi yang didasarkan kepada variasi debit. Waktu detensi yang digunakan adalah 1 hari, 3 hari, dan 5 hari.

Variasi yang kedua adalah jenis dari reaktor yang digunakan, yaitu reaktor *constructed wetland* dan *aerated constructed wetland*.

Parameter COD terlarut dilakukan analisa setiap dua kali sehari yaitu pagi hari dan sore hari untuk mengetahui stabilitas penyisihan organik oleh reaktor. Pemilihan waktu pengambilan sampel ini dengan pertimbangan kondisi lingkungan yang tidak jauh berbeda. Walaupun pada siang hari memiliki interval waktu yang lebih pendek, namun aktivitas biologi lebih banyak terjadi pada siang hari. Dilakukan pengukuran influen dan efluen pada reaktor untuk memperoleh efisiensi pengolahan. Disetiap pengambilan sampel dilakukan pengukuran suhu dan pH. Parameter BOD dianalisa setelah reaktor mencapai kondisi tunak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Barat No.39 Tahun 2000, terlihat bahwa parameter nitrit dan amonium masih melebihi baku mutu, hal ini dapat membebani badan air yang akan menjadi tempat pembuangan limbah hasil olahan ini. Melihat besarnya jumlah air yang diolah pada saat ini yaitu sekitar 40000 m³/hari, maka potensi ini cukup besar untuk dimanfaatkan kembali, sehingga dapat memberi manfaat bagi lingkungan dan bagi kehidupan manusia. Namun, air limbah hasil olahan tersebut harus kembali disesuaikan karakteristiknya terhadap peraturan yang berlaku untuk pemanfaatan air, yaitu Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001.

Di awal penelitian dilakukan pengecekan awal dari karakteristik awal limbah yang akan diolah. Data karakteristik tersebut disajikan dalam **Tabel 2**. Efluen IPAL Bojongsoang dapat dikategorikan kedalam kelas lemah, walaupun beberapa parameter berada pada kelas sedang dan kuat, parameter BOD, COD, total fosfat, dan nitrit melewati baku mutu. Parameter COD memiliki rentang nilai antara 68,57 – 154,59 mg/L, sedangkan

parameter BOD memiliki rentang 23 – 97 mg/L.

Dengan membandingkan antara nilai BOD dan COD akan didapatkan suatu nilai yang menggambarkan angka biodegradabilitas limbah yang akan diolah. Dari tabel diatas didapat bahwa rasio BOD/COD adalah 0,878. Nilai rasio BOD/COD ini tipikal dari limbah cair rumah tangga. Jika nilai tersebut lebih besar dari 0,5 maka limbah tersebut dapat didegradasi oleh bakteri (Tchobanoglous et al., 2003).

Diharapkan melalui penelitian ini, karakteristik efluen yang dihasilkan dapat memenuhi PP no.82 Tahun 2001 kelas 3, yang dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertamanan, dan untuk kegunaan lain dengan persyaratan mutu air yang sama, mengingat mata pencaharian penduduk sekitar IPAL Bojongsoang yang kebanyakan bercocok tanam dan membudidayakan ikan.

Tabel 2. Karakteristik awal umpan reaktor

No	Parameter Karakteristik Awal	Unit	Limbah IPAL Bojongsoang	kelas *			Baku Mutu	
				lemah	sedang	kuat	konsentrasi**	konsentrasi***
1	pH		7.5 - 9,216	-	-	-	6 -9	6 -9
2	Suhu	0C	25.2 - 27,18	-	-	-	-	-
3	Total Solid	mg/L	375 - 567	350	770	1200	1400	-
4	BOD	mg/L	23 - 97	110	220	350	6	-
5	COD	mg/L	77,8 - 154,59	250	500	1000	50	-
6	Total P	mg/L	0,156 - 29,3156	4	8	15	1	-
7	Nitrat	mg/L	1,58 - 0,2041	-	-	-	20	10
8	Nitrit	mg/L	0,0888 - 1,054	-	-	-	0,06	0,06
9	Amonium	mg/L	1,428 - 2,555	12	25	50	-	0,02
10	NTK	mg/L	2,38 - 10,282	20	40	85	-	-
11	Oksigen Terlarut	mg/L	3,01 - 4,90				3	3

Baku Mutu : * *Metcalf & Eddy, 2003.*

** PP 82 Tahun 2001 untuk kelas III

*** Surat Keputusan Gubernur Jawa Barat No.39 Tahun 2000

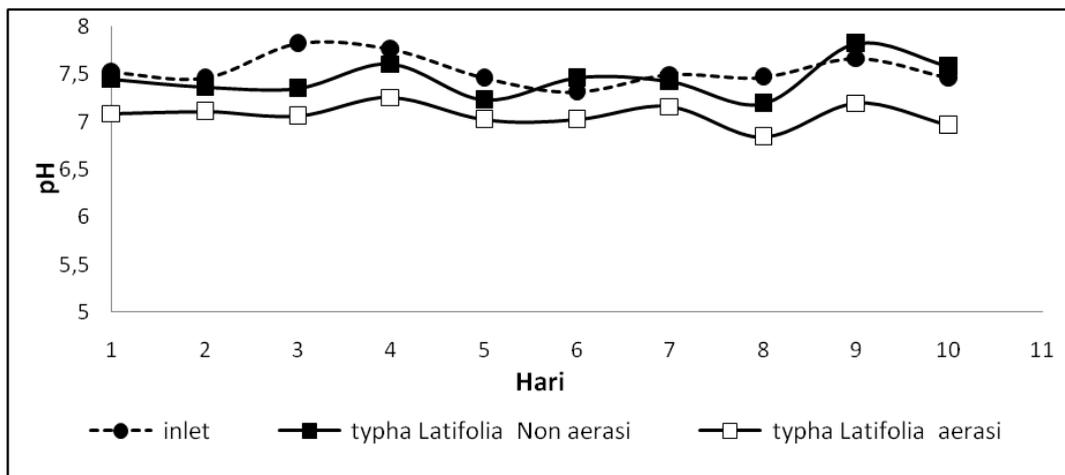
Pengaruh Waktu Detensi Terhadap pH

Pengukuran pH dilakukan karena beberapa parameter pencemar, penyisihannya bergantung pada nilai pH. Data tersebut diambil setiap kali dilakukan pengambilan sampel. Untuk reaktor dengan tanaman *Typha latifolia* tanpa perlakuan aerasi pH-nya adalah 7,44, sedangkan untuk reaktor dengan tanaman *Typha latifolia* dengan penambahan aerasi pH-nya adalah 7,07. Suhu harian rata-rata untuk waktu detensi 1 hari di dalam reaktor adalah 25,1 °C. Data tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**.

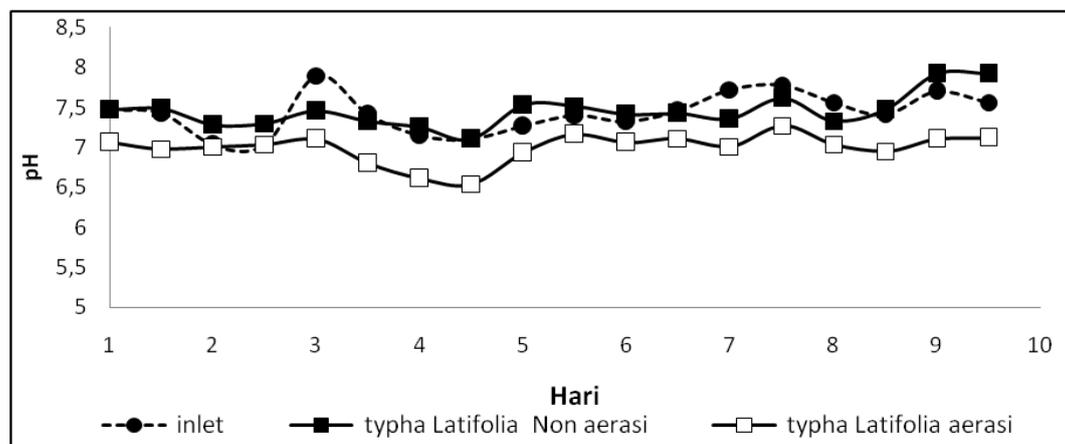
pH inlet harian rata-rata untuk waktu detensi 3 hari, sebesar 7,43. Untuk reaktor tanpa penambahan aerasi pH rata-rata pada perlakuan waktu tinggal 3 hari

adalah 7,42, sedangkan pH pada reaktor dengan penambahan aerasi adalah 7,02. Suhu rata-rata harian untuk waktu detensi 3 hari adalah 25,3 °C. Data tersebut dapat dilihat pada **Gambar 6**.

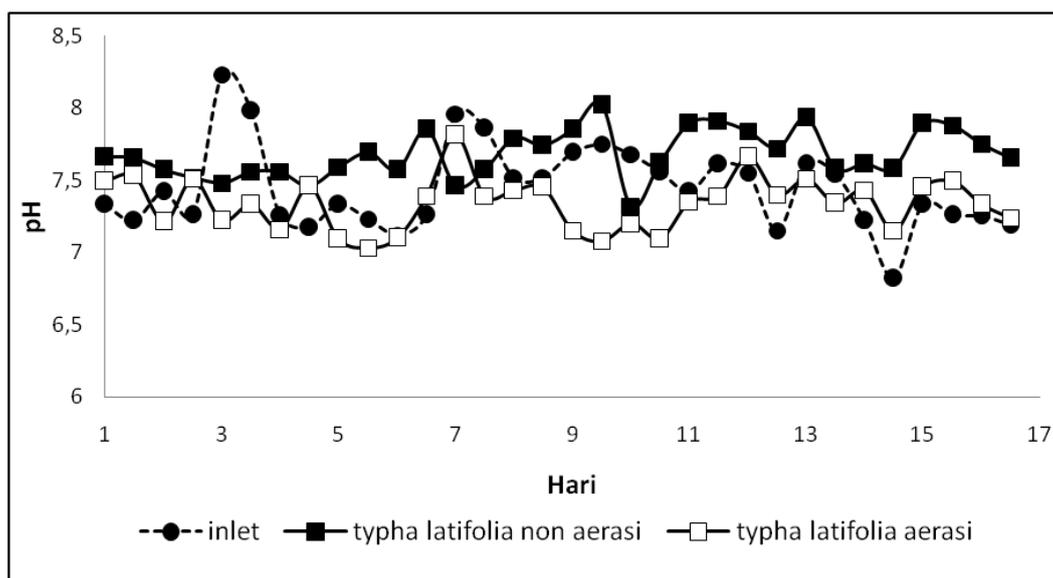
pH inlet harian rata-rata untuk waktu detensi 5 hari, sebesar 7,44. Untuk reaktor tanpa penambahan aerasi pH rata-rata pada perlakuan waktu tinggal 5 hari adalah 7,68, sedangkan pH pada reaktor dengan penambahan aerasi adalah 7,33. Suhu rata-rata harian untuk waktu detensi 5 hari adalah 25,1 °C. Data tersebut dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 5. Pengaruh waktu detensi 1 hari terhadap pH



Gambar 6. Pengaruh waktu detensi 3 hari terhadap pH



Gambar 7. Pengaruh waktu detensi 5 hari terhadap pH

Berdasarkan **Gambar 5**, **Gambar 6**, dan **Gambar 7**, diketahui bahwa lama kontak limbah terhadap reaktor tidak berpengaruh pada nilai dari pH. Namun dengan adanya penambahan aerasi pada reaktor C dan D, tampak jelas mempengaruhi nilai pH. Efluen dari reaktor C dan D tampak lebih tinggi nilai pH-nya daripada reaktor A dan B. Lebih kecilnya pH pada reaktor dengan tambahan aerasi, dapat disebabkan akibat mikroorganisme aerob yang lebih aktif pada reaktor dengan aerasi. Mikroorganisme aerob selain menghasilkan energi untuk dirinya sendiri, juga menghasilkan CO_2 yang dapat menurunkan pH.

Efisiensi penyisihan organik

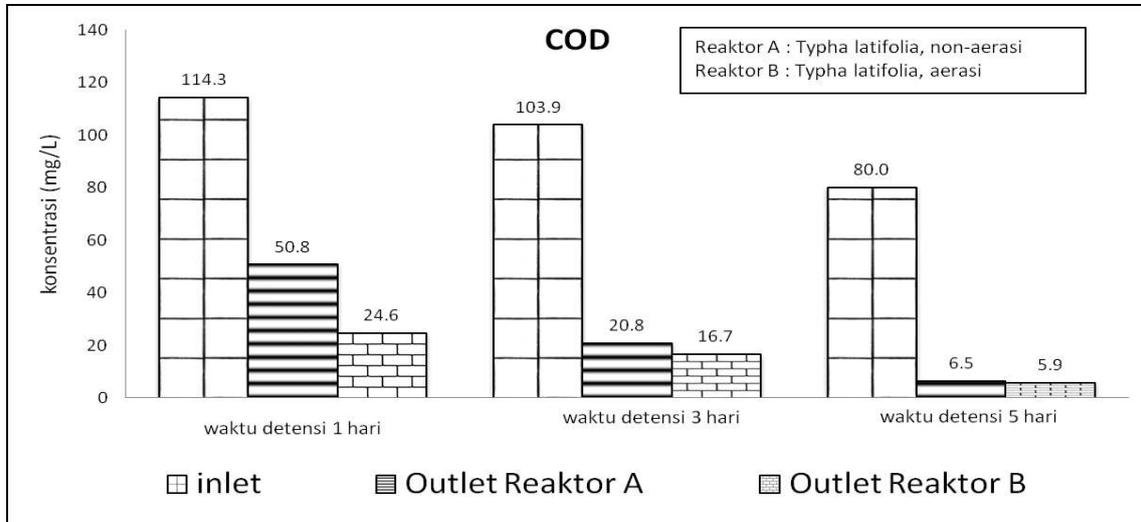
Sampel dari masing-masing outlet reaktor *constructed wetland* diambil setiap hari pada pukul 09.00 dan 15.00 untuk mengetahui konsentrasi COD terlarut. Berdasarkan penelitian terlihat bahwa pada waktu detensi 1 hari konsentrasi akhir COD terlarut setelah reaktor stabil berkisar antara 37,67 – 49,41 %, untuk waktu detensi 3 hari efisiensi penyisihan COD terlarut berkisar antara 30,07-70,83%, sedangkan untuk waktu detensi 5 hari efisiensinya berkisar antara 55,72-69,81%.

Efisiensi penyisihan organik yang diwakili oleh parameter COD. Berdasarkan **Gambar 8** dan **Gambar 9**, terlihat bahwa penyisihan COD berlangsung paling baik pada waktu detensi 5 hari, baik pada reaktor dengan aerasi atau tanpa aerasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara limbah dengan mikroorganisme dan akar tanaman, semakin baik penyisihan organik yang didapatkan. Hal ini karena mekanisme dasar penyisihan organik adalah adanya simbiosis antara tanaman dan bakteri (Polprasert, 1998).

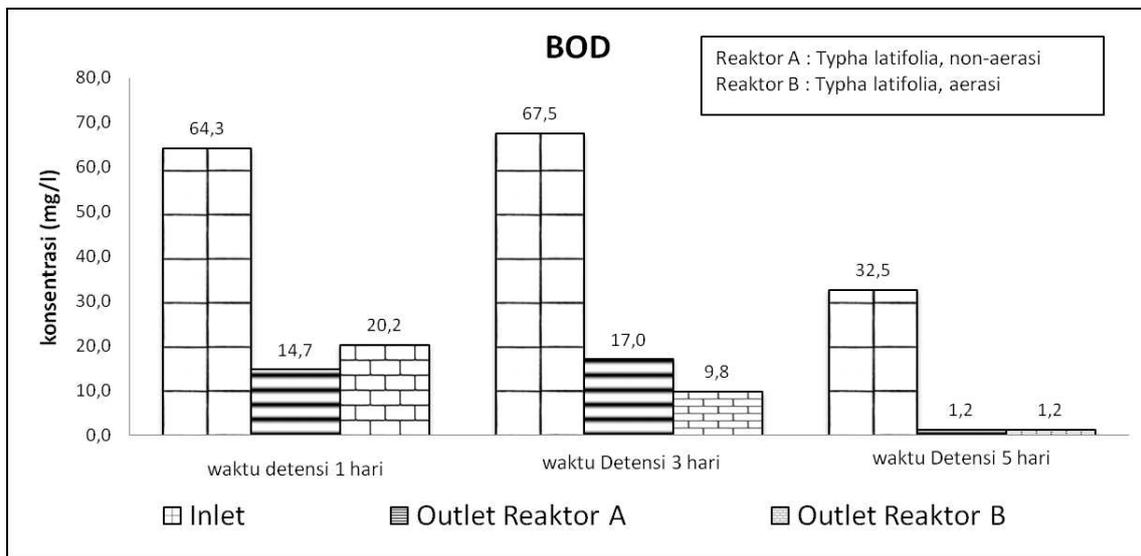
Reaktor *aerated constructed wetland* dikembangkan untuk memperbesar efisiensi penyisihan zat pencemar dalam limbah, salah satunya zat organik (Nurul, 2009). Dari **Gambar 8**, terlihat bahwa penyisihan zat organik pada reaktor *constructed wetland* dengan aerasi lebih tinggi dibandingkan yang tanpa aerasi. Jika dirata-ratakan dari seluruh variasi waktu detensi yang digunakan, terlihat perbedaan efisiensi sebesar 8,6 %. Pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**, menunjukkan bahwa pada waktu detensi 5 hari efisiensi penyisihan antara reaktor aerasi dan reaktor tanpa aerasi tidak begitu signifikan perbedaannya, namun pada waktu detensi 1 hari, signifikansinya cukup terlihat.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengecekan konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oksigen*) pada reaktor dengan membuat beberapa sumur pengecekan disalah satu reaktor aerasi dan reaktor non aerasi (pada **Gambar 3**). Setelah dilakukan pengukuran didapatkan hasil bahwa

rata-rata konsentrasi oksigen terlarut pada reaktor aerasi adalah 5,31 mg/l sedangkan untuk reaktor non-aerasi adalah 3,68 mg/l. Terlihat bahwa benar terjadi aerasi pada reaktor aerasi.



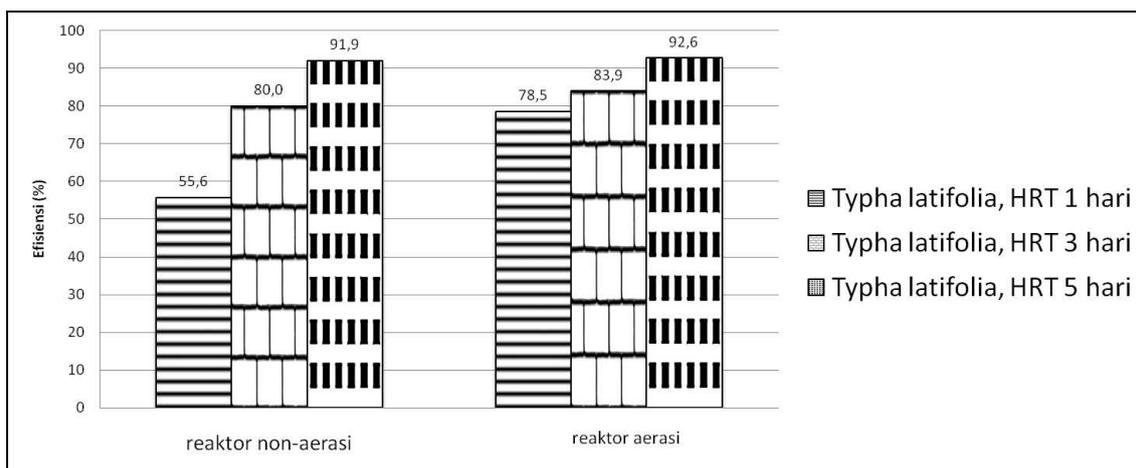
Gambar 8. Pengaruh jenis reaktor terhadap penyisihan COD



Gambar 9. Pengaruh jenis reaktor terhadap penyisihan BOD

Efisiensi penyisihan terbaik terjadi pada waktu detensi 5 hari. Pada reaktor A yang merupakan reaktor tanpa penambahan aerasi, efisiensi penyisihan COD adalah sebesar 91,9 %. Efisiensi penyisihan COD untuk reaktor D adalah 92,6% (lihat **Gambar 10**). Hal tersebut mengindikasikan

kan bahwa semakin lama kontak limbah dengan zona pengolahan pada reaktor, semakin baik penyisihan COD yang dapat dilakukan. Penyisihan COD, pada *constructed wetland* merupakan fungsi dari waktu detensi, dan cocok dengan persamaan kinetik orde satu (Ning et al., 2006).



Gambar 10. Pengaruh waktu detensi terhadap penyisihan COD

KESIMPULAN

Pengolahan limbah cair menggunakan *constructed wetland* dapat menyisihkan pencemar organik dengan baik. Jenis tanaman yang digunakan adalah *Typha latifolia*. Penyisihan pencemar organik paling baik terjadi pada waktu detensi 5 hari, konsentrasi efluen yang dihasilkan pada waktu detensi ini antara 4,1-7,1 mg/l dengan efisiensi 91,2-94,9 %. Reaktor *constructed wetland* dengan tambahan aerasi dapat menyisihkan parameter COD lebih baik daripada reaktor tanpa tambahan aerasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA DIKTI 2010. Kepada Ibu Prayatni Soewondo dan Ibu Marisa Handajani yang telah memberikan arahan dalam penelitian ini.

REFERENCE

Kayranli, Birol., Scholz, Miklas., Mustafa, Atif., Hofmann, Oliver., Harrington, Rory. (2010). *Performance Evaluation of Integrated Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater*. *Water Air Soil Pollution* 210: 435–451.

Merlin, Gérard., Pajeau, Jean-Luc., Lissolo, Thierry. (2002). *Performances of constructed wetlands for municipal wastewater*

treatment in rural mountainous area. *Hydrobiologia* 469: 87–98.

Metcalf & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering, Fourth Edition*. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.

Nurul, Amaliyah. *Penyisihan COD dan BOD dalam Greywater dengan Free Water Surface System Constructed Wetland*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2009.

Polprasert, C., Khatiwada, N.R, Bhurtel, J. (1998). *Design Model for COD Removal in Constructed Wetlands Based on Biofilm Activity*. *Journal of Environmental Engineering*: 838-843.

Setiyawan, Ahmad Soleh. (2007). *Optimasi Efisiensi Pengolahan Efluen Reaktor Anaerobik Bersekat dengan Menggunakan Rekayasa Aliran Wetland (Studi Kasus : Limbah Cair RPH dan Industri Tahu)*. Tugas Akhir S1, Prodi Teknik Lingkungan, ITB, Bandung.

Sonie, Rakhmi. (2007). *Pengolahan Efluen ABR (Anaerobic Buffled Reactor) Dengan Rekayasa Aliran Pada Constructed Wetland*. Tugas Akhir S1, Prodi Teknik Lingkungan, ITB, Bandung.

Soeprijanto. (2005). *Performance of Constructed Wetland Systems for*

Nitrogen Removal. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

Vymazal, Jan. (2009). *Removal of Organics in Constructed Wetlands With Horizontal Sub-Surface Flow: A Review of The field Experience.* Science of The Total Environment 407: 3911-3922.

Wojciechowska, Ewa., Gajewska, Magdalena., Obarska-Pempkowiak, Hanna. (2010). *Treatment of Landfill Leachate by Constructed Wetlands: Three Case Studies.* Polish J. of Environ. Stud Vol. 19, No. 3: 643-650.

Yeh, T.Y., Chuang, C.C., Ju, C.H. *Pollutans Transformation and Removal Within Constructed Wetland Hybrid System.* (2006). Proceedings of the 4th WSEAS int. Conf. On Heat Transfer, Thermal Engineering, And Environment : 27-33.

