

STUDI PENYISIHAN MATERI ORGANIK, TEMBAGA, DAN KADMIUM DARI URBAN ROAD STORMWATER MENGGUNAKAN BIOFILTER

STUDY OF REMOVAL OF ORGANIC MATTER, CUPRUM, AND CADMIUM FROM URBAN ROAD STORMWATER USING BIOFILTER

*¹Yuke Nabila dan ²Yuniati Zevi

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

e-mail : ¹yukenabila@gmail.com dan ²yz59@cornell.edu

Abstrak: Urban road stormwater memiliki kuantitas cukup tinggi dengan kualitas tercemar, sehingga akan mempengaruhi kondisi badan air penerima. Aktivitas di kawasan urban didominasi oleh kegiatan domestik dan transportasi, sehingga mengakibatkan tingginya kandungan logam berat dan materi organik dalam stormwater. Biofilter dengan media filter bervegetasi berfungsi untuk mengolah limpasan stormwater yang mengandung polutan. Media yang digunakan dalam biofilter adalah kombinasi tanah dan kompos, pasir, kerikil, serta tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Eksperimen dilakukan menggunakan stormwater artifisial dengan variasi volume influen yang digunakan yaitu 25 l, 20 l, dan 15 l dengan penambahan influen setiap 3 hari. Efisiensi penyisihan Cu sebesar 92-99% pada influen 25 liter dan mengalami peningkatan hingga 100% pada influen 20 liter, sedangkan efisiensi penyisihan Cd konstan di kedua influen yaitu 99-100%. Efisiensi penyisihan zat organik sebesar 79-87% untuk influen 25 liter dan 86% untuk influen 20 liter. Parameter kualitas air lain diukur untuk mengetahui pengaruh proses biofiltrasi terhadap kualitas air secara keseluruhan. Penyisihan TSS sebesar 56-83%, sulfat tersisihkan dengan efisiensi 15-38% untuk influen 25 liter dan 47-54% untuk influen 20 liter, Fe disisihkan dengan efisiensi 71-94% untuk influen 25 liter dan meningkat hingga 90-99% pada influen 20 liter, dan penyisihan Mn memiliki efisiensi 97-99% pada kedua variasi influen. Sedangkan nitrogen menunjukkan peningkatan konsentrasi di awal eksperimen, kemudian baru tersisihkan pada running ketiga.

Kata kunci: biofilter, logam berat, penyisihan, urban road stormwater, zat organik

Abstract: Urban road stormwater has a high quantity of water with polluted quality, so it will affect the condition of receiving water body. Urban area is dominated by domestic activities and transportation. This has led to the high content of heavy metals and organic matter in stormwater. Biofilter with vegetated filter media is used to treat stormwater runoff containing pollutants. Medias used in the biofilter are the combination of the soil and compost, sand, gravel, and vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*). Experiment is conducted using artificial stormwater with influent volume variations (25 L and 20 L) every 3 days. The main water quality parameters are monitored heavy metals and organic matter. Cu removals are 92-99% in 25 L influent and 100% for 20 L influent. Meanwhile Cd removal is between 99-100% in both variations. Organic matters removals of 79-87% for 25 L influent and 86% for 20 L influent. Other parameters are measured to know the effect of biofiltration in water quality as a whole. TSS removal of 56-83 %, sulfate removal of 15-38% for 25 L influent and 47-54% for 20 L influent, Fe removed with efficiency of 71-94% for 25 L influent and 90-99% for 20 L influent, Mn removal of 97-99% in both

variations. Meanwhile nitrogen data shows concentration enhancement in the beginning of experiment, then removed in the third running of 25 L influent.

Key words: *biofilter, heavy metals, organic matter, removal, urban road stormwater*

PENDAHULUAN

Bandung merupakan wilayah dengan curah hujan tinggi dan berlangsung hampir sepanjang tahun. Kondisi hujan di titik Dago Pakar terjadi 111 hari hujan dengan jumlah curah hujan 1530 mm/tahun pada tahun 2012 (Pusair Kota Bandung, 2013). Kondisi ini ditambah dengan semakin sempitnya daerah resapan air hujan menimbulkan tingginya volume *stormwater*. Menurut *State of Washington Department of Ecology*, secara umum *urban road stormwater* yang belum diolah tidak aman bagi lingkungan terutama badan air penerima karena adanya kandungan senyawa organik dan logam berat. *Stormwater* ini dalam kondisi tercemar karena adanya interaksi dengan air limbah domestik, kendaraan bermotor, maupun jalan raya.

Dewasa ini, biofilter dengan sistem infiltrasi menjadi alternatif teknologi yang dapat dipilih untuk mengolah *urban road stormwater*. Selain berfungsi untuk memperkecil aliran dan meminimasi volume, biofilter dengan media filtrasi bervegetasi ini mampu meningkatkan kualitas air efluen dan berkontribusi dalam usaha menciptakan lingkungan urban berkelanjutan (Blecken et al, 2010). Media pada biofilter ini memiliki beberapa fungsi lain yaitu menyisihkan ammonia, nitrit, karbondioksida, kelebihan nitrogen dan gas terlarut lainnya, padatan tersuspensi, serta menambahkan kadar oksigen dalam air (Jurries, 2003). Hasil pengukuran kualitas *urban road stormwater* di kawasan Dago memperlihatkan konsentrasi logam berat dan zat organik yang cukup tinggi, terdiri dari Cu: 0,313 mg/l, Cd: 2,751 mg/l, dan zat organik: 304,332 mg/l. jika dibandingkan dengan baku mutu, konsentrasi logam berat dan zat organik tersebut telah melebihi baku mutu. Logam berat dibandingkan dengan baku mutu keempat kelas air pada Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air serta Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum untuk parameter zat organik. Hal ini menyebabkan *urban road stormwater* perlu diolah sebelum aman memasuki sistem air tanah dan air permukaan. Pengolahan kualitas air dengan biofilter *stormwater* umumnya efektif dan dapat diandalkan. Penyisihan TSS dan logam berat memiliki efisiensi lebih dari 90% (Blecken et al., 2007; Davis et al., 2006).

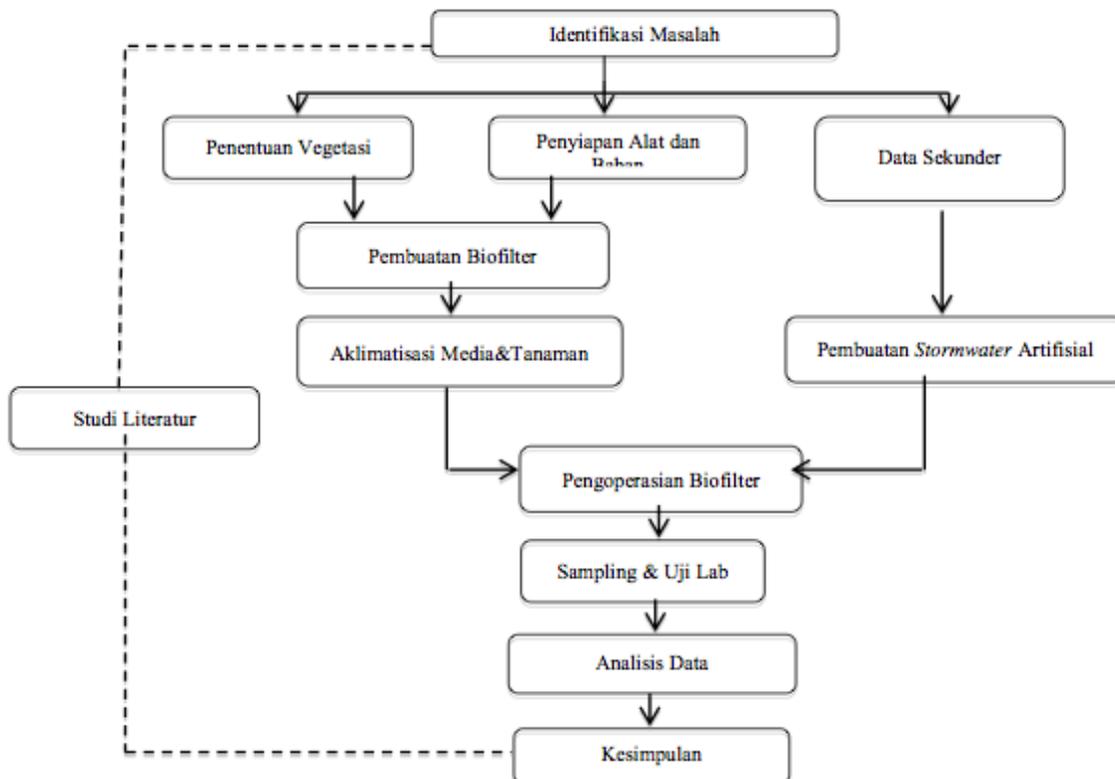
Vegetasi adalah faktor penting lain yang memengaruhi kapasitas infiltrasi dari sistem biofiltrasi (Lewis et al., 2008) dan mobilitas logam dalam tanah secara langsung maupun tidak langsung. Tanaman dapat meningkatkan mobilitas logam melalui pembentukan jalur preferential flow oleh akar. Selain itu, tanaman dapat menahan leaching logam melalui reduksi rembesan dalam dengan *taking up water*, adsorpsi logam oleh permukaan akar, *plant uptake* logam, dan *stimulated microbial immobilization* di rhizofe (Sayyad, 2009), sehingga vegetasi memiliki peran penting dalam penyisihan polutan dari *stormwater* (Zinger et al, 2012). Tanaman yang digunakan harus sesuai dengan polutan yang akan disisihkan serta cocok hidup di daerah pemasangan biofilter (Jurries, 2003). Dalam penelitian ini tanaman yang digunakan adalah akar wangi atau *Vetiveria zizanioides*. Tanaman ini biasa digunakan sebagai *living contour* dalam konservasi tanah dan biasa ditanam di daerah berkontur untuk menahan tanah ketika terjadi aliran (Moore et al., 2006). Akar wangi dikenal sebagai tanaman yang mampu menoleransi variasi iklim dan kondisi tanah yang ekstrem, termasuk logam berat (Roongtanakiat, 2009). Vegetasi ini dapat menoleransi pH ekstrem (3-10) serta kandungan logam yang tinggi, seperti aluminium, kadmium, timah, merkuri, dan arsenik, sehingga sering ditanam di kawasan pertambangan. Selain itu, akar wangi mampu menoleransi banjir dan *waterlogging* (Moore et al., 2006).

Pada penelitian ini materi organik dan logam berat merupakan parameter utama yang dipantau Selain itu, dilakukan pemantauan terhadap parameter pH, TSS, sulfat, besi, mangan,

nitrit, dan nitrat untuk mengetahui pengaruh pengolahan dengan biofilter. terhadap kualitas *urban road stormwater* secara keseluruhan

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan seperti terlihat pada **Gambar 1**.



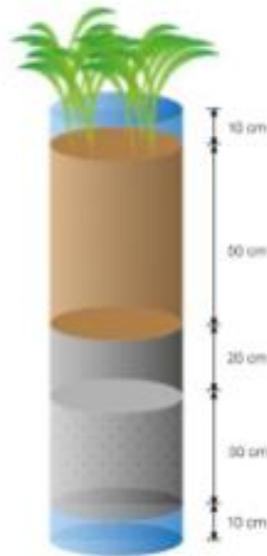
Gambar 1. Tahapan pengerjaan penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan 2 buah biofilter (duplikat) dengan media filter kombinasi tanah dan kompos, pasir, kerikil, serta vegetasi akar wangi. Influen *urban road stormwater* artifisial dengan volume 25 L dan 20 L dimasukkan kedalam biofilter masing-masing sebanyak 3 kali setiap 3 hari. Pengukuran kualitas efluen dilakukan terhadap parameter logam Cu dan Cd, zat organik, pH, TSS, sulfat, besi, mangan, nitrit dan nitrat.

Pembuatan Kolom Biofilter

Kolom biofilter dengan tinggi 1200 mm dan diameter dalam 300 mm ini dibuat sebanyak 2 buah (replikat) dengan bahan pipa yang diisi beberapa jenis media (**Gambar 3**). Bagian teratas kolom setinggi 200 mm dibiarkan tidak terisi media sebagai antisipasi terjadinya *ponding*. Desain biofilter ditunjukkan seperti terlihat pada **Gambar 2**.

Filter memiliki kedalaman 1000 mm yang terbagi menjadi 3 bagian media filter ya itu kombinasi tanah dan kompos, pasir, serta kerikil berukuran besar dan kecil. Vegetasi yang digunakan adalah tanaman akar wangi atau *Vetiveria zizanioides*. Berdasarkan beberapa penelitian tanaman akar wangi telah terbukti dapat menyisihkan logam berat terutama kadmium (Moore et al., 2006). Spesifikasi desain biofilter yang telah dibuat untuk penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 1**.



Gambar 2. Sketsa Desain Biofilter



Gambar 3. Media Filter (a) Kerikil, (b) Pasir, (c) Kompos, (d) Tanah

Tabel 1. Spesifikasi Desain Biofilter

Spesifikasi Kolom	
Material	PVC
Ketinggian	1100 mm
Diameter Dalam	300 mm
Vegetasi	
Spesies Tanaman	Akar Wangi (<i>Vetiveria zizanioides</i>)
Media Filter	
Lapisan Atas	Komposisi tanah dan kompos 1:2 (500 mm)
Lapisan Tengah	Pasir (200 mm)
Lapisan Bawah	Kerikil (300 mm)

Alat dan bahan yang dipergunakan disesuaikan dengan rancangan biofilter pada beberapa penelitian yang telah ada. Perbandingan kompos dan tanah sebesar 2:1 disesuaikan dengan kebutuhan zat hara bagi tanaman agar dapat tumbuh. Bahan berupa media filter diuji karakteristiknya di laboratorium. Parameter yang diukur terdiri dari hydraulic conductivity dan kadar air untuk kombinasi tanah dan kompos serta kadar air, d_{10} , dan d_{60} untuk pasir. Hasil karakterisasi media filter dapat dilihat pada **Tabel 2** dibawah ini.

Tabel 2. Karakteristik Media Filter

Karakteristik	Nilai	Metode Pengukuran
Tanah dan Kompos		
Hydraulic conductivity	$5,737 \times 10^{-5}$ cm/s atau 2,065 mm/jam	Hydraulic Conductivity Test
Kadar Air	0,213 gr air/gr media	Metode Gravimetri
Pasir		
Kadar Air	0,101 gr air/gr media	Metode Gravimetri
d_{10}	7,263	Sieving analysis
d_{60}	2,408	Sieving analysis

Pembuatan Stormwater Artifisial

Dari penelitian mengenai karakteristik kualitas *urban road stormwater* yang telah dilakukan, didapatkan data kualitas *urban road stormwater* di Kota Bandung, khususnya titik perempatan Jl. Dipati Ukur dan Jl. Ir. H. Djuanda serta perempatan Jl. Cikapayang dan Jl. Ir H. Djuanda, yang diperlihatkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kualitas Urban Road Stormwater Daerah Dago, Kota Bandung (Almaditya, 2013)

No	Parameter	Baku Mutu (mg/l)	Konsentrasi Tertinggi (mg/l)	
			Titik Dipati Ukur-Dago	Titik Dago-Cikapayang
1	TSS	50 ¹	3,333	2,686
2	pH	6,5-8,5 ²	6,28-7,94	6,62-8,35
3	Tembaga (Cu)	0,020 ¹	0,313	0,213
4	Kadmium (Cd)	0,003 ²	2,751	1,609
5	Seng (Zn)	0,05 ¹	1,816	1,278
6	Zat Organik	10 ²	304,332	272,65
7	Nitrat (NO ₃ ⁻)	10 ¹	2,292	2,961
8	Nitrit (NO ₂ ⁻)	1 ¹	0,043	0,216
9	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	250 ²	10,676	13,08
10	Besi (Fe)	0,3 ¹	5,287	4,689
11	Mangan (Mn)	0,4 ²	5,215	1,814

Baku Mutu:

1. Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk air kelas I
2. Peraturan Menteri Kesehatan No 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

Urban road stormwater alamiah dengan kualitas seragam terbatas jumlahnya, sehingga *stormwater* artifisial digunakan dalam penelitian ini. Air artifisial dibuat dari campuran air keran terdeklorinasi dan beberapa bahan kimia untuk mencapai nilai konsentrasi *urban road stormwater* yang dilakukan di Kota Bandung terutama wilayah Dago

oleh studi sebelumnya. **Tabel 4** berikut ini memperlihatkan konsentrasi tiap parameter terukur dan bahan kimia yang dipergunakan untuk pembuatan influen tersebut.

Tabel 4. Kualitas *Urban Road Stormwater* Artifisial

No	Parameter	Konsentrasi (mg/l)	Bahan Kimia yang Dipergunakan	
			Nama	Berat (gram) untuk 550 liter
1	TSS	36,832	Kaolin	110
2	pH	6,72	-	-
3	Tembaga (Cu)	6,65	CuSO ₄ .5H ₂ O	2,6
4	Kadmium (Cd)	0,256	CdSO ₄ .8H ₂ O	25,0
5	Seng (Zn)	0,526	ZnO	7,0
6	Zat Organik	200,076	Glukosa (Dextrose Monohidrat)	114,2
7	Nitrat (NO ₃ ⁻)	2,570	KNO ₃	2,0
8	Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,087	NaNO ₂	0,14
9	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	18,256	-	-
10	Besi (Fe)	1,195	FeSO ₄ .7H ₂ O	14,0
11	Mangan (Mn)	5,215	MnSO ₄ .H ₂ O	5,5

Pengoperasian Biofilter

Eksperimen dilakukan selama 1 bulan dengan 3 variasi volume influen yang disesuaikan dengan data pengukuran curah hujan di Stasiun Dago Pakar. Volume influen didapatkan dari perhitungan total curah hujan dibagi dengan banyaknya hari hujan pada tahun 2011, area tangkapan biofilter (1 kolom untuk daerah tangkapan 2,21 m²), serta asumsi persentase daerah tangkapan biofilter sebesar 90%.

$$\text{Volume influen} = \frac{1530 \text{ mm/tahun}}{111 \text{ hari/tahun}} \times 2 \text{ m}^2 \times 90\% = 24,811 \sim 25 \text{ liter}$$

Pengisian influen kedalam kolom dilakukan setiap 3 hari sekali karena disesuaikan dengan jumlah hari hujan yang terjadi sepanjang tahun di daerah Dago pada tahun 2012 (*Selang hari hujan* = $\frac{365 \text{ hari}}{111 \text{ hari/tahun}} = 3,288 \sim 3 \text{ hari}$). Pengisian influen dengan volume yang sama dilakukan sebanyak 3 kali, sehingga jumlah pengisian influen total sejumlah 9 kali dengan tambahan 1 kali pengisian air keran di awal eksperimen. Waktu pengisian influen dilakukan selama 30 menit sebagai asumsi lama terjadinya hujan di daerah Dago, sehingga debit diatur sebesar Q₁ 0,833 m³/menit, Q₂ 0,667 m³/menit, dan Q₃ 0,5 m³/menit.

Pengambilan dan Pengukuran Sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara *grab* sampling (contoh air yang diambil dalam satu kali pengambilan) dengan menggunakan botol 1000 ml dan 250 ml dari titik outflow.

Seluruh sampel dikumpulkan dalam botol *polyethylene* yang telah diberi label nama dan ditambahkan asam nitrit (HNO₃) pada sampel dalam botol 250 mL untuk pengawetan sampel logam berat, kemudian sampel 250 mL dan 1000 mL disimpan di ruang pendingin dengan temperatur ± 4°C untuk pengawetan sesuai dengan Metode Standar (APHA/AWWA/WPCF,1998). Sampel dianalisis untuk parameter zat organik dan logam berat (Cu, Cd) serta parameter lainnya sesuai pengukuran pada studi awal mengenai

karakteristik *urban road stormwater* di Kota Bandung sebagai monitoring kualitas *stormwater* secara keseluruhan.

Sampel air outflow diukur kualitasnya di laboratorium secara duplo. Nilai konsentrasi outflow yang diambil adalah nilai rerata dari kedua data konsentrasi. Penyisihan dihitung dengan **Persamaan 1** dimana RE adalah efisiensi penyisihan, Ci adalah konsentrasi influen, dan Ce adalah konsentrasi efluen.

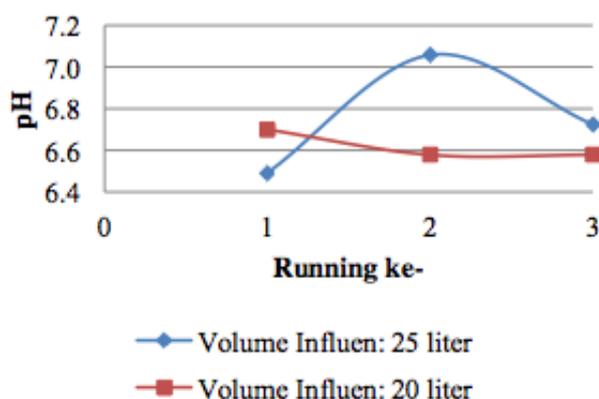
$$RE = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100\% \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter utama yang dipantau adalah zat organik dan logam berat. TSS dan pH menjadi parameter tambahan yang dipantau karena penyisihan zat organik dan logam berat berkaitan dengan kedua parameter ini.

Parameter pH

Parameter pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam satu larutan melalui aktivitas ion hidrogen H^+ . pH dari *stormwater* merupakan parameter penting yang mempengaruhi solubilitas logam dalam air, karena toksisitas akut dari logam dipengaruhi oleh nilai pH (Makepeace, 1995). Menurut Duncan (1999), rentang pH *stormwater* adalah 4,1-8,3 dengan nilai rata-rata 7 dan nilai ini lebih tinggi dari pH air hujan. Perubahan pH pada *stormwater* secara signifikan akan mempengaruhi perilaku logam dalam biofilter, sehingga efisiensi penyisihan biofilter akan berkurang dan menyebabkan lepasnya logam yang telah diserap oleh media filter (Blecken, 2010). Kualitas pH efluen memiliki nilai dengan rentang 6,49-7,06 untuk variasi volume influen 25 liter, sedangkan volume influen 20 liter memiliki pH 6,58-6,70 seperti terlihat pada **Gambar 4**. Nilai pH pada kedua volume influen menunjukkan nilai pH netral ataupun mendekati netral. Hal ini disebabkan oleh adanya media kompos dan pasir yang memiliki kemampuan menetralkan pH air influen (Clark, 1999).

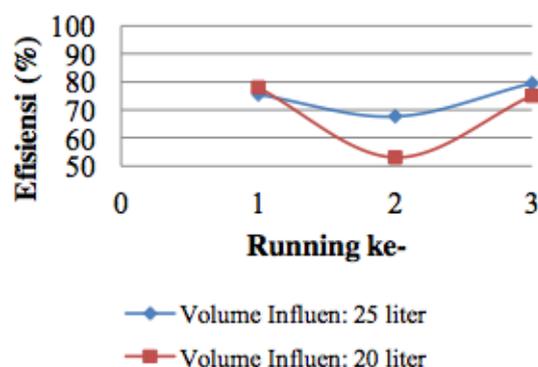


Gambar 4. Nilai parameter pH

Parameter TSS

Sumber padatan tersuspensi diantaranya deposisi atmosfer saat kering dan basah, penggunaan jalan dan ban kendaraan, wilayah konstruksi dan erosi, serta wilayah tangkapan urban yang padat secara umum dapat menghasilkan konsentrasi TSS yang lebih tinggi dibandingkan daerah jarang penduduk (Duncan, 1999). TSS yang membawa atau mengikat polutan seperti logam biasa digunakan sebagai indikator pencemaran *stormwater* yang mudah dikuantifikasi (Blecken et al., 2010).

Konsentrasi TSS tertinggi pada data kualitas *urban road stormwater* di daerah Dago, Bandung menunjukkan nilai sebesar 3333 mg/liter. Namun dalam penelitian ini hanya diambil nilai konsentrasi TSS sebesar 1% untuk menghindari terjadinya *clogging* di studi awal ini. Kandungan TSS dalam *urban road stormwater* artifisial sebesar 34 mg/liter. Penyisihan TSS sangat efektif dengan efisiensi mencapai lebih dari 90% (Blecken et al., 2007; Davis et al., 2006; Davis et al., 2003). Namun dalam penelitian ini penyisihan kandungan TSS dalam air lebih kecil dari literatur tersebut. Hasil penyisihan TSS menunjukkan persentase dengan rentang 65-80% untuk volume influen 25 liter dan 50-80% untuk variasi volume influen 20 liter (**Gambar 5**).



Gambar 5. Efisiensi penyisihan TSS

Gambar 5 menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan TSS oleh biofilter lama-kelamaan semakin berkurang. Penyisihan TSS terjadi secara mekanis di lapisan teratas biofilter. Hal tersebut mengakibatkan permeabilitas media teratas tersebut berkurang, (Blecken, 2010) sehingga terjadi *clogging* dan air sulit memasuki tanah. Selama penelitian dilakukan, terjadi beberapa kali *ponding* atau genangan di permukaan biofilter. Munculnya genangan ini diakibatkan oleh menurunnya permeabilitas media karena adanya endapan sedimen di permukaan teratas tanah.

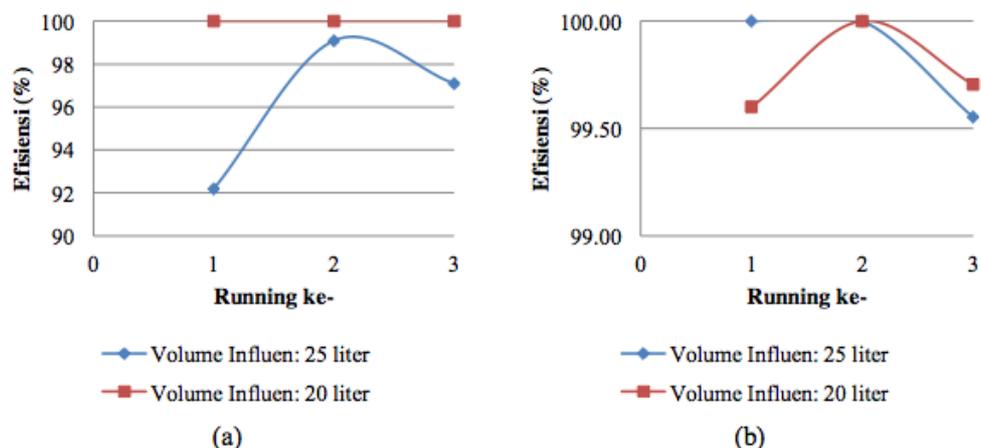
Parameter Logam Berat

Menurut teori, penyisihan logam bergantung pada fase tersuspensi-terlarut dari logam tersebut dalam *stormwater*. Logam *particle-bound* tersisihkan bersama dengan TSS pada filtrasi mekanis di permukaan filter (Davies et al., 2009). Bagaimanapun juga, terdapat kemungkinan logam melekat pada sedimen dalam suspensi, sehingga logam masih hadir dalam outflow. Penyisihan logam terlarut bergantung pada proses biologis dan kimiawi di dalam biofilter yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Meskipun pH merupakan faktor penentu yang mendominasi perubahan fase terlarut-tersuspensi pada logam, faktor lain seperti kondisi redoks dan temperatur dapat mempengaruhi perubahan tersebut (Bradl, 2004).

Logam berat yang dipantau kualitasnya adalah tembaga (Cu) dan kadmium (Cd). Kedua logam ini merupakan logam yang dilaporkan banyak terkandung dalam *stormwater*. Kandungan tembaga atau Cu dalam *urban road stormwater* berasal dari penggunaan ban, mesin, dan rem pada kendaraan sedangkan sumber logam kadmium yaitu adanya aktivitas pembakaran, penggunaan ban dan rem pada kendaraan; korosi logam tergalvanisasi; buangan baterai (Makepeace, 1995).

Efisiensi penyisihan parameter Cu sebesar 92-99% pada influen 25 liter dan mengalami peningkatan hingga 100% pada influen 20 liter (**Gambar 6a**). Hasil penyisihan tembaga dalam biofilter menunjukkan nilai efluen dengan rentang <0,040 mg/liter. Sementara efisiensi penyisihan Cd konstan di kedua influen yaitu 99-100% (**Gambar 6b**). Hasil penyisihan kadmium dalam biofilter menunjukkan nilai efluen <0,001 mg/l. Penyisihan

logam berat pada volume influen 20 liter lebih tinggi dari pada volume influen 25 liter, kecuali pada data logam Cd di running pertama. Hal ini menunjukkan bahwa semakin sedikit volume influen yang memasuki biofilter, semakin bertambah efisiensi penyisihan logam yang terjadi.



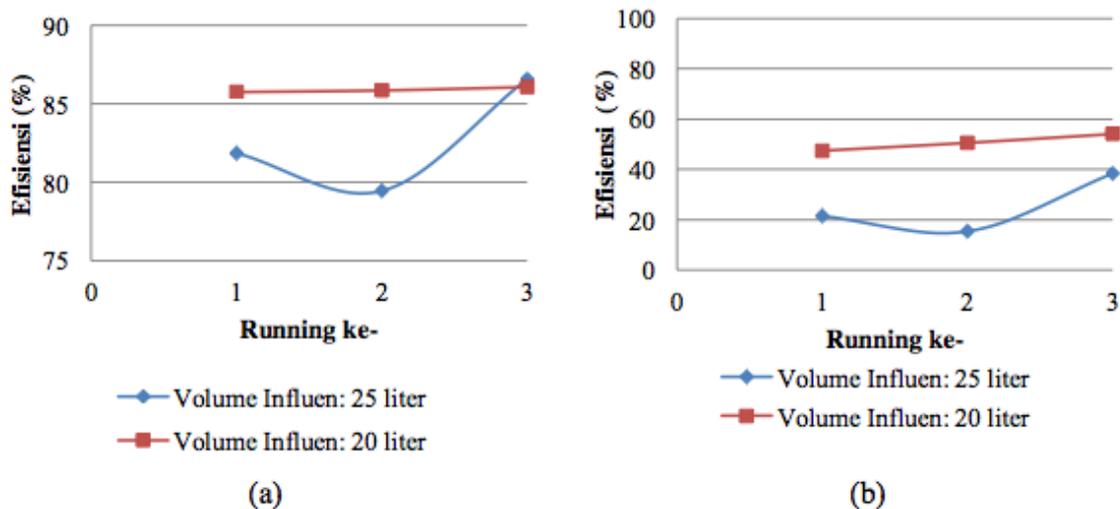
Gambar 6. Efisiensi penyisihan logam berat (a) Cu, (b) Cd

Data efisiensi menunjukkan bahwa penyisihan Cd lebih efektif dari Cu. Hasil tersebut sesuai dengan teori yang dipaparkan oleh Clark (1999) bahwa efisiensi penyisihan logam menggunakan media kompos adalah Cd>Cu. Kandungan humus pada kompos berperan dalam kemampuan kompos mengabsorpsi logam berat. Humus didominasi oleh zat organik dengan berat molekular tinggi, berwarna coklat kehitaman, dan memiliki afinitas yang tinggi terhadap ion logam kompleks. Substansi humus bekerja seperti *polyelectrilyte*, menyisihkan toksin dari *stormwater* melalui adsorpsi atau pertukaran ion (Clark & Pitt, 1999 dalam Finney, 2010).

Selain media filter, vegetasi adalah faktor penting lain yang memengaruhi mobilitas logam dalam tanah, secara langsung maupun tidak langsung. Tanaman dapat menahan leaching logam melalui reduksi rembesan dalam dengan *taking up water*, adsorpsi logam oleh permukaan akar, *plant uptake* logam, dan *stimulated microbial immobilization* di rhizofe (Sayyad, 2009). Dalam penelitian ini tanaman yang digunakan adalah akar wangi atau *Vetiveria zizanioides*. Akar vetiver dapat mencegah leaching dan runoff logam berat ke air tanah melalui imobilisasi dan stabilisasi logam berat (Roongtanakiat, 2009).

Parameter Zat Organik

Efisiensi penyisihan zat organik sebesar 79-87% untuk influen 25 liter dan 86% untuk influen 20 liter. Pada awal eksperimen, penyisihan zat organik dengan efisiensi terendah terjadi. Hal ini dapat disebabkan belum stabilnya media filter. **Gambar 7a** menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan semakin meningkat dan bernilai konstan ketika volume influen 20 liter. Penyisihan terjadi secara mekanis pada permukaan media biofilter bersama suspensi lainnya karena adanya substansi humus pada media kompos yang mampu mengabsorpsi zat organik (Seelsaen et al., 2007 dalam Finney, 2010).



Gambar 8. Efisiensi penyisihan (a) Zat organic, (b) Sulfat

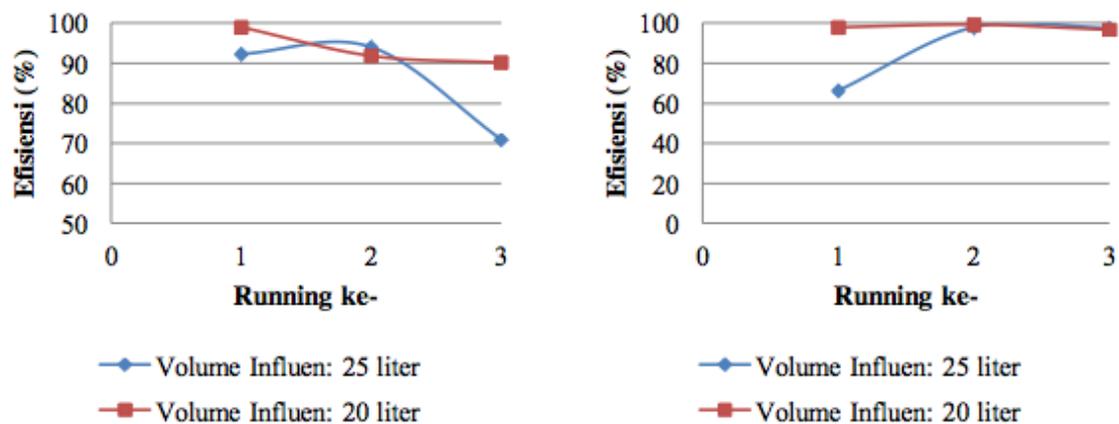
Parameter Sulfat

Ion sulfat adalah salah satu anion utama yang biasa ada dalam air alami. Sulfat menjadi parameter yang diperhatikan dalam air karena secara tidak langsung menyebabkan masalah yang berhubungan penanganan dan pengolahan air limbah. Proses reduksi sulfat menjadi hidrogen sulfida pada kondisi anaerobik dapat menyebabkan bau dan korosi pada sistem sewerage (Sawyer et al., 2003). Kandungan sulfat dalam *urban road stormwater* artifisial sebesar 18,256 mg/l. Setelah memasuki kolom biofilter terjadi penyisihan parameter tersebut dengan efisiensi 15-38% untuk influen 25 liter dan 47-54% untuk influen 20 liter (**Gambar 7b**).

Penyisihan sulfat dalam biofilter terjadi karena adanya siklus sulfur berupa konversi sulfat menjadi sulfur organik (*plant protein*) oleh akar wangi sebagai vegetasi yang tumbuh di biofilter tersebut (Sawyer et al., 2003). *Vetiveria zizanioides* atau akar wangi dapat melakukan *sulfur phyto-uptake* (Zhou et al., 2012). Peningkatan efisiensi penyisihan sulfat ketika volume influen diperkecil mengindikasikan vegetasi membutuhkan sulfat pada kadar yang terbatas.

Parameter Besi dan Mangan

Kandungan besi dalam *urban road stormwater* artifisial sebesar 1,2 mg/l. Setelah memasuki kolom biofilter, parameter Fe disisihkan dengan efisiensi 71-94% untuk influen 25 liter dan meningkat hingga 90-99% pada influen 20 liter (**Gambar 8a**). Efluen air menunjukkan parameter besi memiliki kandungan dengan rentang <0,152 mg/l. Sedangkan kandungan mangan dalam *urban road stormwater* artifisial sebesar 5,215 mg/l. Setelah memasuki kolom biofilter, penyisihan Mn memiliki efisiensi 97-99% pada kedua variasi influen, meskipun pada variasi 25 liter pertama efisiensi sangat rendah sebesar 66% (**Gambar 8b**). Efluen air menunjukkan parameter mangan memiliki kandungan dengan rentang <3,4 mg/l.



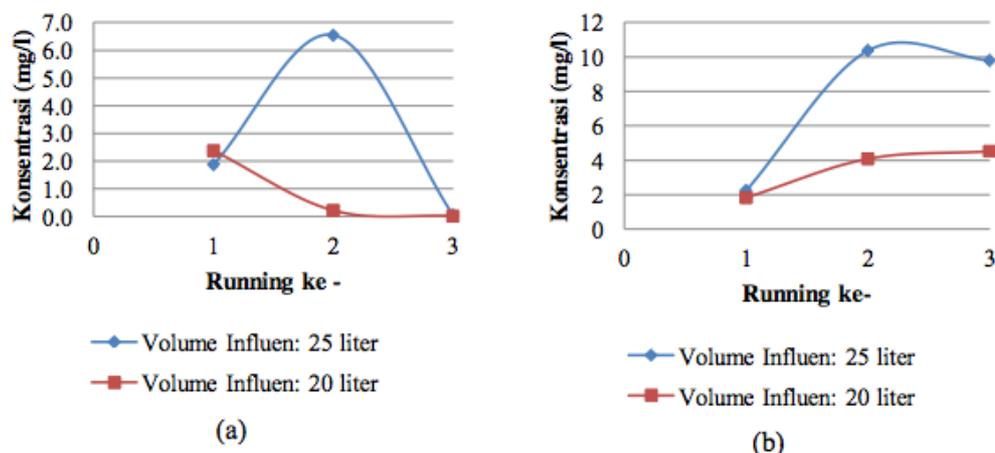
Gambar 8. Efisiensi penyisihan (a) Besi, (b) Mangan

Dalam proses penyisihan Fe dan Mn, mekanisme yang banyak berperan adalah proses aerasi ketika air melalui pori-pori media filter. Aerasi mampu menambah oksigen ke air untuk mengubah substansi yang ada di permukaan menjadi suatu oksida. Dalam keadaan teroksidasi, Fe dan Mn terlarut di air dalam bentuk Fe^{2+} dan Mn^{2+} akan teroksidasi menjadi valensi lebih tinggi, yaitu bentuk ion kompleks baru yang tidak larut dalam jumlah yang cukup besar, sehingga Fe dan Mn dapat dihilangkan dengan pengendapan setelah aerasi (Makhmudah., 2009).

Menurut Roongtanakiat (2007), tanaman akar wangi dapat menyisihkan logam Fe dan Mn dalam air dengan absorpsi oleh akar. Besar absorpsi logam $Fe > Mn$, sehingga efisiensi penyisihan Fe lebih besar dari Mn. Hal ini terlihat dari hasil pengukuran yang menunjukkan efisiensi terendah untuk penyisihan Mn sebesar 66% sedangkan Fe sebesar 71%. Selain itu, penyisihan Fe dipengaruhi pula oleh media kompos, meskipun kurang signifikan dibandingkan penyisihan logam lain Clark (1999). Menurutnya media kompos mampu menyisihkan $Cd > Zn > Pb > Cu > Cr > Fe$.

Parameter Nitrogen

Kandungan nitrit dan nitrat dalam efluen terukur mengalami peningkatan yang signifikan pada kedua variasi volume. Peningkatan konsentrasi nitrit dan nitrat tertinggi terjadi pada running ke-2 variasi influen 25 liter. Kandungan nitrit mencapai 6,5 mg/l dari influen 0,085 mg/l (**Gambar 9a**). Sedangkan kandungan nitrat tertinggi sebesar 10,375 mg/l dari influen 2,57 mg/ (**Gambar 9b**).



Gambar 9. Konsentrasi nitrogen (a) Nitrat, (b) Nitrit

Data nitrogen tersebut menunjukkan rendahnya tingkat penyisihan nitrogen, baik nitrit maupun nitrat, di awal eksperimen. Pada running selanjutnya, terjadi penurunan kadar nitrit dan nitrat yang cukup signifikan. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Collins et al. (2010) yang menyatakan bahwa penyisihan nitrogen sangat bervariasi dan kurang efisien. Penggunaan media kompos yang mengandung nitrogen dapat berkontribusi dalam penambahan kadar nitrit dan nitrat pada media kompos sebagai sumber nitrogen in situ. Pelepasan nitrogen in situ ini kemungkinan besar terjadi pada running ke-2 volume influen 25 liter. Setelah media kompos stabil, nitrit dan nitrat tidak dilepaskan lagi bersama efluen.

Pemilihan spesies tanaman yang digunakan sangat penting terutama jika media biofilter mengandung jumlah nitrogen in situ yang signifikan (Read et al., 2008). *Vetiveria zizanioides* atau akar wangi yang digunakan pada biofilter berperan dalam penyisihan nitrogen karena adanya proses nitrogen phyto-uptake (Zhou et al. 2012).

KESIMPULAN

Biofilter merupakan teknologi pengelolaan stormwater yang dapat diandalkan. Efisiensi penyisihan parameter Cu sebesar 92-99% pada influen 25 liter dan mengalami peningkatan hingga 100% pada influen 20 liter. Sedangkan efisiensi penyisihan Cd konstan di kedua influen yaitu 99-100%. Efisiensi penyisihan zat organik sebesar 79-87% untuk influen 25 liter dan 86% untuk influen 20 liter. Parameter kualitas air lain diukur untuk mengetahui pengaruh proses biofiltrasi terhadap kualitas air secara keseluruhan. Beberapa parameter lain tersisih secara signifikan seperti TSS, sulfat, besi, dan mangan. Penyisihan TSS sebesar 56-83 %, parameter sulfat tersisihkan dengan efisiensi 15-38% untuk influen 25 liter dan 47-54% untuk influen 20 liter, parameter Fe disisihkan dengan efisiensi 71-94% untuk influen 25 liter dan meningkat hingga 90-99% pada influen 20 liter, dan penyisihan Mn memiliki efisiensi 97-99% pada kedua variasi influen, meskipun pada variasi 25 liter pertama efisiensi sangat rendah sebesar 66%. Sedangkan parameter nitrogen menunjukkan peningkatan konsentrasi di awal eksperimen, kemudian baru tersisihkan pada running ketiga. Kandungan nitrit dan nitrat dalam efluen terukur mengalami peningkatan yang signifikan pada kedua variasi volume. Peningkatan konsentrasi nitrit dan nitrat tertinggi terjadi pada running ke-2 variasi influen 25 liter. Kandungan nitrit mencapai 6,5 mg/l dari influen 0,085 mg/l. Sedangkan kandungan nitrat tertinggi sebesar 10,375 mg/l dari influen 2,57 mg/l. Secara umum, biofilter dengan media filter bervegetasi akar wangi dapat diandalkan untuk menyisihkan polutan yang terkandung dalam *urban road stormwater*.

DAFTAR PUSTAKA

- Blecken, G.T. (2010). *Biofiltration Technologies for Stormwater Quality Treatment*. Doctoral Thesis. Swedia: Lulea University of Technology.
- Clark, S., & Johnson, P.D. (1999). *Metals Removal Technologies for Stormwater: Filtration*. Pennsylvania: Penn State Harrisburg School of Science.
- Finney, K. (2010). *Compost Biofilters for Highway Stormwater Runoff Water Treatment*. ProQuest Dissertation and Thesis: The Sciences and Engineering Collection.
- Makhmudah, N. (2009). *Penyisihan Besi Mangan, Kekeruhan dan Warna Menggunakan Saringan Pasir Lambat pada Kondisi Aliran Tak Jenuh*. Tugas Akhir. Bandung: ITB.
- Moore, G. & Stanton, D. (2006). *Vetiver Grass (Vetiveria zizanioides)*. Department of Agricultural and Food Western Australia Bulletin 4690, Perth.
- Roongtanakiat, N. Tangruangkiat, S., & Meesat, R. (2007). *Utilization of Vetiver Grass (Vetiveria zizanioides) for Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater*. ScienceAsia 33, 397-403.