KARAKTERISTIK PENYISIHAN ORGANIK DAN NUTRIEN PADA SISTEM LOOP BIOFILTRASI UNTUK PENGOLAHAN AIR GAMBUT DAN AIR LIMBAH

CHARACTERISTICS OF ORGANIC AND NUTRIENT REMOVAL ON LOOP BIOFILTER SYSTEM FOR PEAT WATER AND WASTEWATER TREATMENT

Elis Hastuti^{1,*}, Fitriyani Anggraini¹, dan Reni Nuraeni¹

¹Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jl. Panyungan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393, Indonesia

*E-mail: elishastuti@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received date

10 January 2017

Received in revised form date

8 March 2017

Accepted date

9 March 2017

Available online date

31 May 2017

Abstract

Domestic wastewater pollution in the watershed area which has ecologically sensitive area, such as peat water, can be resolved by water management that combines raw water treatment and wastewater treatment with closed loop system on a community scale. This paper describes the removal characteristics of organic and nutrient in biofilters loop system to treat raw water that contains color <300 units PtCo, COD 102-116 mg/L, and domestic wastewater. Water treatment system which consists of a biological treatment and multimedia filtration is used to supply drinking water and to conduct wastewater treatment on a community scale by using the potential of ecosystems and chemical-physical characteristics of peat. The study was conducted by applying method of field scale to serve 50 families and method of performance evaluation models based on approach of first-order kinetics plug flow and Kadlec and Knight $k-C^*$ model. The case study is located in downstream of Siak watershed areas, as one of the national strategic watersheds, which is packed with urban slum areas with low access to surface water utilization and good sanitation infrastructure. Water treatment unit that consists of peat biofilter systems, hybrid aerobic biofilter, and zeolite cation-anion filtration can support water supply in public sanitation facilities. The biofilters loop model for wastewater treatment consists of hybrid Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), biofilters, and constructed wetlands which its media is a combination between porous media and peat soils. At steady state, the removal of organic and nitrogen is larger than 90%.

Keywords: Peat, Organic, Nutrient, Biofilters loop, Wastewater, Community

Kata kunci:

Gambut
Organik
Nutrien
Loop biofiltrasi
Air limbah
Komunitas

Abstrak

Pencegahan pencemaran air akibat permukiman di kawasan sensitif ekologi, seperti kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan tipe gambut, dapat dilakukan dengan pengelolaan air yang mengombinasikan sumber daya air dan *closed loop system* pengolahan air limbah pada skala komunitas. Tulisan ini menguraikan tentang karakteristik penyisihan organik dan nutrien pada sistem *loop* biofiltrasi untuk pengolahan air baku yang memiliki kandungan warna <300 unit PtCo, COD 102-116 mg/L, dan sumber air limbah komunal. Sistem pengolahan air yang terdiri dari pengolahan biologis dan filtrasi multimedia digunakan untuk penyediaan air minum dan pengolahan air limbah skala komunitas dengan memanfaatkan potensi ekosistem dan karakteristik fisika kimia gambut. Penelitian dilakukan dengan metode penerapan skala lapangan untuk melayani 50 KK dan metode evaluasi kinerja model berdasarkan pendekatan kinetika *plug flow* orde pertama serta model Kadlec and Knight k-C*. Studi kasus berada di kawasan DAS Siak zona hilir, sebagai salah satu DAS strategis nasional yang telah tercemari oleh kawasan kumuh perkotaan dan belum mempunyai penanganan sanitasi yang layak serta pemanfaatan potensi air permukaan. Unit pengolahan air sungai yang terdiri atas sistem biofilter tanah gambut, hibrid biofilter aerob dan filtrasi zeolit kation anion, dapat mendukung penyediaan air di sarana sanitasi publik. Komponen model *loop* biofiltrasi untuk pengolahan air limbah terdiri dari sistem hibrid *UASB*, biofilter, dan lahan basah buatan dengan kombinasi media poros dan tanah gambut. Pada tahap stabil, penyisihan organik dan nitrogen mencapai lebih dari 90%.

© 2017 Widyariset. All rights reserved

PENDAHULUAN

Aktivitas permukiman di kawasan sensitif ekologi, seperti Daerah Aliran Sungai (DAS) tipe gambut, telah meningkatkan polutan organik dan anorganik pada badan air. Salah satu sungai strategis nasional yang berada di Provinsi Riau, yaitu Sungai Siak, termasuk DAS kritis, kawasan rawan bencana banjir dan longsor, erosi, dan pendangkalan, serta tercemar (Kementerian Lingkungan Hidup 2009). Di sepanjang Sungai Siak ke arah hilir, terutama di Kota Pekanbaru, telah berkembang aktivitas sosial dan ekonomi yang menyebabkan berbagai pencemaran. Selain itu terdapat beberapa permasalahan dalam penyediaan air minum dan sanitasi, di antaranya tingkat keberlanjutan yang rendah dan sebagian pelayanan tidak dapat dilakukan dengan pendekatan berbasis institusi. Sarana sanitasi yang ada, sebagian besar belum mempunyai pengolahan air yang mem-

pertimbangkan persyaratan teknis maupun kelestarian badan air. Untuk pencegahan pencemaran air tersebut, dapat dilakukan dengan pengelolaan air yang mengombinasikan sumber daya air dan sistem *closed loop* pengolahan air limbah.

Pengelolaan air skala komunitas dapat dilakukan dengan pendekatan yang mempertimbangkan upaya pengurangan kebutuhan air, filtrasi sempadan, pemanenan air hujan, dan daur ulang air limbah (Alcamo 2003). Pendekatan sistem juga dilakukan berdasarkan proses *cyclic* yang diamati di alam dimana pengumpulan secara terpisah untuk pengolahan dan daur ulang black water, grey water, dan air hujan. Pengelolaan air skala komunitas di kawasan DAS Siak Hilir, tidak hanya mempertimbangkan pengolahan air untuk penyisihan warna saja, tetapi juga terhadap polutan organik dan anorganik dari limbah domestik dan industri. Pengelolaan air

limbah merupakan salah satu upaya konservasi sungai seperti yang tercantum pada Peraturan Pemerintah No. 38 Tahun 2011 tentang Sungai. Pengelolaan air limbah dilakukan berdasarkan pendekatan bahwa air limbah bukan sebagai masalah yang harus dibuang tetapi sebagai sumber daya yang bervariasi dan jika dikelola dengan benar dapat digunakan kembali. Selain itu pada pengolahan air limbah perlu dikembangkan pengolahan lanjutan untuk penyisihan nutrien, dalam hal ini nitrogen dan fosfor yang akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada badan air penerima (air laut/air tawar). Kelebihan nutrien dalam air limbah akan mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (Effendi 2003). Di negara maju, penanganan permasalahan eutrofikasi telah menjadi program nasional, di antaranya *The National Eutrophication Management Program* di Australia, program *North American Lake Management Society* di Amerika Serikat dan *Scientific Committee on Phosphates* di kawasan Eropa (Forsberg 1998). Sementara di Indonesia, penanggulangannya masih secara terbatas tetapi telah tercantum pada kebijakan atau peraturan, seperti Instruksi Presiden Nomor 2 tahun 2008 tentang Penghematan Energi dan Air, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 6 Tahun 2011 tentang Pedoman Penggunaan Sumber Daya Air, juga dalam dokumen negara "*Indonesia's Technology Need Assessment for Climate Change Adaptation 2011*".

Pada tulisan ini diuraikan pendekatan pengelolaan air skala komunitas dengan menggunakan sistem *loop* biofiltrasi untuk mendukung siklus air dan nutrien yang berkelanjutan di kawasan permukiman yang berada di DAS yang bertipe gambut dan tercemar limbah. Sistem *loop* biofiltrasi tersebut merupakan sistem hibrid pengolahan air secara biologis dan fisika. Lokasi kasus berada di segmen DAS Siak zona hilir, yaitu di Kota Pekanbaru, dengan

mempertimbangkan karakteristik DAS yang dipengaruhi gambut, kondisi sanitasi yang dipengaruhi sosial budaya, perubahan tata guna lahan, jasa lingkungan, keterbatasan pengelolaan institusi, dan lain-lain. Kajian sistem *loop* biofiltrasi pada lokasi tersebut juga memperhatikan pendekatan masyarakat untuk peningkatan budaya menghargai lingkungan dan memiliki kesadaran lingkungan.

Pengolahan air secara terpadu di kawasan permukiman merupakan bagian dari siklus air dan nutrien, termasuk pengolahan air untuk kebutuhan kegiatan sanitasi serta pengolahan air limbah sehingga dapat dibuang secara aman ke sumber air baku untuk air minum. Proses penyisihan polutan air sungai, seperti zat organik, kekeruhan, dan logam berat dapat dilakukan melalui mekanisme fisik, geokimia dan biologi. Pengelolaan air limbah penting dilakukan berdasarkan pendekatan bahwa air limbah bukan sebagai materi yang harus dibuang tetapi sebagai sumber daya yang bervariasi dan jika dikelola dengan benar dapat digunakan kembali (Philip, Anton, and der Steen 2011). Selain itu pada penerapan pengolahan air limbah harus mempertimbangkan karakteristik air limbah, perilaku dan budaya masyarakat, kondisi lokasi serta potensi air limbah yang dapat dikembangkan sesuai strategi daur ulang. Teknologi pengolahan air limbah dapat memanfaatkan potensi lokal untuk pengembangan sistem hibrid biofilter anaerobik dan sistem lahan basah buatan. Sistem hibrid mempunyai keunggulan dalam peningkatan efisiensi pengolahan, serta kemudahan dalam operasi dan pemeliharaan (Ayati and Ganjidoust 2006).

Pendekatan pengelolaan teknologi terpadu pengolahan air dan sanitasi yang telah dikembangkan, mengombinasikan sumber daya air dengan *closed loop systems* untuk resirkulasi air dan limbah (Gambar 1). Penyediaan air untuk domes-

tik dan komersial dikelola menjadi *potable water* dan *non-potable water*. Berdasarkan sistem tersebut kebutuhan untuk *potable water* sangatlah kecil, sehingga pengolahan air untuk kebutuhan air minum dapat dikurangi. Kebutuhan sumber air untuk *non-potable water* dapat disediakan dari beberapa sumber seperti air daur ulang dan air hujan dan dapat disimpan di dalam akuifer karena jumlahnya yang besar (Daigger 2008).

Gambar 1. Skema sistem pengelolaan sumber daya dan air di perkotaan secara terintegrasi (Daigger 2008)

Pemilihan alternatif teknologi yang inovatif penting untuk mengombinasikan siklus tertutup proses biofiltrasi alam maupun proses teknologi tingkat lanjut yang sesuai dengan polutan pada sumber air permukaan dan air limbah. Filter yang menggunakan gambut sebagai media, dapat digunakan untuk filtrasi air limbah atau air sungai tercemar, pada ketinggian media 30 cm, minimum 0,2 m untuk penyisihan BOD dan TSS pada *hydraulic loading rate*/HLR 20 - 100 mm/hari (Headley 2006). Karakteristik fisika-kimia gambut, menjadikan gambut sebagai media pengolahan. Gambut juga memiliki area permukaan yang tinggi, meningkatkan adsorpsi dan memengaruhi konduktivitas hidraulik. Zat organik pada air gambut didominasi oleh senyawa humat yang bersifat sulit dirombak oleh mikroorganisme atau ber-

sifat *nonbiodegradable* (Zouboulis, Chai, and Katsoyiannis 2004). Namun demikian upaya untuk merombak senyawa humat dan fulvat ini terus dikembangkan. Salah satu metode potensial adalah pengolahan secara biologi, dengan menggunakan bakteri yang dikultivasi baik dari tanah gambut maupun air gambut itu sendiri. Pada poses pengolahan tingkat lanjut, termasuk pemisahan berbasis membran yang sering digunakan untuk pengolahan air gambut adalah membran ultrafiltrasi (UF) dan *reverse osmosis* (RO).

METODE

Penelitian karakteristik penyisihan polutan organik dan nutrisi pada sistem *loop* biofiltrasi skala komunitas ini, dilakukan berdasarkan pendekatan kombinasi siklus tertutup proses biofiltrasi alam dan proses teknologi tingkat lanjut untuk penyisihan polutan air baku air minum dan air limbah. Metode penerapan skala lapangan digunakan untuk mengkaji karakteristik penyisihan polutan, yang terdiri dari pengolahan air sungai dan air limbah skala komunitas (50 KK). Studi kasus berada di kawasan DAS Siak zona hilir, sebagai salah satu DAS strategis nasional yang telah tercemari oleh aktivitas kawasan perkotaan dan belum disertai penanganan sanitasi yang berorientasi daur ulang dan pemanfaatan potensi air permukaan. Pemilihan lokasi dilakukan dengan metode sampling purposif, dengan pendekatan aspek *needs*. Lokasi terpilih berada di RW 01, Kelurahan Sri Meranti, Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru (Gambar 2). Pada lokasi ini sebagian besar penduduk belum memanfaatkan potensi air permukaan dan sebagian masyarakat menggunakan air sungai yang tercemar untuk kebutuhan sehari-hari. Selain itu, akses masyarakat terhadap sarana sanitasi masih rendah.

(a) Lokasi penelitian

(b) Area pelayanan

(c) Sumber Air Baku (Sungai Siak)

Gambar 2. Lokasi penelitian sistem *loop* biofiltrasi

Aspek desain sistem *loop* biofiltrasi dikaji berdasarkan sistem pengolahan biologi dan fisika untuk pengolahan air sungai dan air limbah. Sistem ini terdiri dari sistem anaerobik-aerobik biofilter, filtrasi tanah gambut, dan zeolit kation anion. Keandalan sistem tersebut dianalisis dengan metode evaluasi proses pengolahan air berdasarkan pengamatan tahap aklimatisasi di lapangan dan tahap stabil menggunakan pendekatan model kinetika *plug*

flow orde pertama dan model *kC-Kadlec and Knight*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Polutan Organik dan Nutrien

Lokasi studi yang berada di zona hilir kawasan DAS tipe gambut dan tercemar berat, merupakan kawasan padat kumuh yang memerlukan penyediaan air dan penanganan sanitasi. Kandungan zat organik pada badan air tersebut, selain berasal dari bahan organik gambut juga dari air limbah domestik. Selain itu pencemaran anorganik air limbah, seperti nitrogen dan fosfor yang biasa ditemukan dalam senyawa nitrat (NO_3^-) dan fosfat (PO_4^{3-}), akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada badan air penerima atau masalah eutrofikasi.

Di Indonesia, penerapan pengolahan air limbah untuk penyisihan senyawa nutrien atau daur ulang air masih terbatas. Saat ini penyediaan IPAL komunal di beberapa kawasan permukiman, belum dapat mengurangi tingkat pencemaran badan air terutama di perkotaan dan efluen dari IPAL tersebut belum mencapai standar baku mutu. Hal ini disebabkan karena IPAL tersebut belum disertai pengolahan senyawa anorganik, ketidaksesuaian dengan persyaratan teknis, dan kurangnya partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan serta belum dilengkapi penyediaan air. Terkait adanya fluktuasi kualitas influen air limbah, standar baku mutu efluen yang semakin ketat, meningkatnya eutrofikasi dan bakteri patogen, kandungan deterjen, gangguan kehidupan akuatik di badan air, maka pengolahan lanjutan pada pengolahan air limbah diperlukan untuk penyisihan senyawa nutrien.

Pada lokasi penerapan model *loop* biofiltrasi, dikembangkan pengolahan air

Gambar 3. Kadar organik dan anorganik pada sumber air baku/Sungai Siak

sungai secara biologi dan fisika sedangkan untuk pengolahan air limbah diterapkan sistem anaerobik dan semi aerobik. Adapun kualitas air Sungai Siak sebagai sumber air baku air minum berdasarkan pengamatan satu tahun, ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil monitoring kualitas air secara fisik dan kimia di segmen sekitar unit intake teknologi air minum pada sistem *loop* biofiltrasi, menunjukkan nilai kekeruhan 4,19 - 57,4 NTU, warna 27 - 207 unit PtCo, pH 5 - 7,08, COD 112 - 158 mg/L dan nitrogen anorganik (NH_3 , NH_4 , NO_3 , NO_2) 0,6 - 17,6 mg/L.

Kadar nitrit yang melebihi 0,05 mg/L dapat bersifat toksik bagi organisme perairan yang sangat sensitif, dan untuk air minum kadar nitrit tidak boleh lebih dari 0,01 mg/L (Effendi 2003). Kadar nitrat pada Sungai Siak lebih dari 5 mg/L, menunjukkan pencemaran antropogenik yang berasal dari air limbah domestik, sampah organik, aktivitas limpasan pertanian atau nitrogen anorganik yang terdapat di dalam tanah dan air. Warna air sungai yang tinggi disebabkan oleh bahan organik seperti tanin,

lignin dan asam humus serta kadar besi yang melebihi 0,3 mg/L (Effendi 2003).

Kadar besi tinggi dapat mengalami pelarutan menjadi besi ferro pada perairan yang tercemar limbah organik tinggi. Air permukaan dengan kadar besi tinggi dapat berkorelasi diantaranya dengan kadar organik tinggi atau berasal dari air tanah. Selain itu besi juga dapat berasal dari hasil pencemaran industri, pencelupan/tekstil ataupun perminyakan (Eckenferlder 1989). Pencemar unsur pupuk, seperti fosfat sebagai fosfor, pada air baku Sungai Siak melebihi batas kualitas air kelas III (1 mg/L). Begitu pula dengan pencemar deterjen / *Methylen Blue Active Surfactant* (MBAS) sebagai parameter penentuan daya biodegradasi surfaktan anionik, teridentifikasi sekitar 1,2 mg/L. Sedangkan senyawa surfaktan pada sumber air limbah non kakus 50 KK sebesar 3,6 mg/L, akan berkontribusi pada peningkatan senyawa surfaktan sehingga melebihi batas pencemar pada badan air sesuai kelas air I - III (0,2 mg/L).

Sarana sanitasi di lokasi studi ditunjukkan pada Gambar 4. Pada

umumnya jamban pribadi atau jamban umum belum disertai pengolahan namun masih dibuang ke sungai dan masih banyak ditemui aktivitas mandi cuci kakus di atas sungai.

Gambar 4. Sarana air limbah di lokasi studi

Gambaran karakteristik beberapa kadar polutan pada air sungai dan air limbah dari IPAL komunal ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan kandungan organik, air limbah di kawasan tersebut berada di rentang konsentrasi sedang sampai berat (Eddy et al. 2003).

Gambar 5. Kadar polutan di air sungai (as) siak dan air limbah (al) 50 kk

Penyisihan Polutan pada Model Loop Biofiltrasi Skala Komunitas

Model *loop* biofiltrasi yang dikembangkan pada skala komunitas, dilakukan berdasarkan pendekatan bahwa potensi air permukaan dapat dimanfaatkan sebagai sumber air minum dan pengelolaan air limbahnya merupakan sumber daya untuk meningkatkan kualitas air permukaan dan kesehatan masyarakat. Skema sistem *loop* biofiltrasi dapat merupakan bagian dari siklus air dan nutrien, yang diilustrasikan pada Gambar 6.

Teknologi pengolahan air sungai merupakan kombinasi dari proses biologis tanah gambut dan filtrasi multi media serta proses filtrasi membran. Biofilm yang terbentuk pada sistem pengolahan air dapat menurunkan bakteri, zat organik dan warna. Pengolahan biologis pada tahap awal dilakukan sebagai upaya untuk pencegahan / mengurangi terbentuknya *trihalomethane* (THMs) dalam air minum, dimana pengolahan biologis tersebut dapat menghilangkan senyawa-senyawa yang menimbulkan terbentuknya THMs, misalnya senyawa organik, ammonia, besi, mangan, dan lain-lain. Hal demikian telah dilakukan di Negara Jepang, sumber air baku dengan kadar COD lebih dari 12 mg/L dan warna lebih dari 20 PtCo, maka pengolahan air memperhatikan senyawa THM (Herlambang 2010). Keandalan kinerja sistem *loop* biofiltrasi dievaluasi berdasarkan tahap aklimatisasi dan tahap stabil dari rangkaian unit proses pengolahan air sungai dan air limbah. Adapun hasil pengolahan air sungai pada beberapa pengamatan, ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 6. Diagram alir pengolahan air skala komunal di kawasan gambut

Ket.: — blackwater; — greywater; — air olahan

Gambar 7. Penyisihan polutan pada air sungai dengan proses biofiltrasi (1), proses hibrid biofilter aerob dan filtrasi pasir (2), proses zeolit KA siklon (3) dan filtrasi membran (4)

Sementara itu sistem *loop* biofiltrasi juga dilengkapi dengan pengolahan air limbah komunal yang terdiri dari sistem hibrid *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) dan *fixed bed* biofilter, kemudian pengolahan lanjutan dengan hibrid *subsurface* lahan basah buatan (HLBB) bermedia tanah gambut. Karakteristik fisika kimia gambut, menjadikan gambut sebagai media pengolahan air limbah atau sungai tercemar karena umumnya terdiri dari lignin dan

selulosa, yang mengandung grup fungsi polar dan memiliki area permukaan yang tinggi, sehingga menghasilkan kapasitas pertukaran ion dan adsorpsi yang tinggi (Zouboulis, Chai, and Katsoyiannis 2004). Penyisihan polutan pada proses biologis pengolahan air limbah, dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan kinetika aliran sumbat/*plug flow* (Mara 2013), yaitu:

$$C_e = C_o \cdot e^{(-KVS/Q)}, \quad (1)$$

Nilai K adalah laju konstanta yang dimodifikasi ($k_T \propto x \cdot d$), m/hari. Nilai k_T tergantung pada suhu, maka nilai K juga bervariasi terhadap suhu. Pada kasus iklim tropis, digunakan persamaan laju konstanta suhu sebagai berikut.

$$K_T = 0,037 (1,08)^{T-15}, \quad (2)$$

$$V_{\text{biofilter}} = -Q (\ln (C_e/C_i)) (K_T \cdot S)^{-1}, \quad (3)$$

dimana:

- T = suhu (°C)
- αD = jarak aliran secara zig zag didalam biofilter pada kedalaman D, dimana $\alpha > 1$
- A = luas penampang biofilter (m²), Q = debit (m³/hari)
- S = luas permukaan per volume biofilter/luas permukaan spesifik (luasan area yang aktif secara biologis tiap satuan volume media (m²/m³))
- d = kedalaman aliran, $\times S \cdot d$ = luas area yang dialiri, $\times < 1$
- K = konstanta laju reaksi modifikasi = $k_1 \cdot \alpha \cdot x \cdot d$, m/hari
- k_1 = konstanta laju aktivitas bakteri sesuai suhu, persamaan arrhenius: $k_1(20) = k_2(20)\phi^{T-20}$
- ϕ = konstanta arrhenius dengan nilai di antara 1,01-1,09, persamaan $\phi = (1,107-0,002T)^{T-25}$
- V = biofilter volume = AD, m³

Penyisihan organik di unit IPAL komunal (50 KK), diperkirakan berdasarkan hasil pengukuran BOD₅ di influen yang berkisar antara 296 – 483 mg/L. Sedangkan jika berdasarkan kinetika aliran *plugflow*, diperoleh perkiraan penyisihan di setiap unit proses IPAL seperti terlihat pada Tabel 1. Diasumsikan penyisihan organik di unit prapengolahan sebesar 20 – 30%, maka penyisihan organik dapat menghasilkan kualitas air sesuai standar daur ulang untuk penyiraman tanaman (USEPA 2004) dan menghasilkan kapasitas beban organik pada unit 1 dan 2 seperti pada Tabel 1, menunjukkan rentang nilai 0,83 – 3,27 kg BOD/m³.h pada suhu 29-30 °C. Pada unit pengolahan lanjutan yang menggunakan sistem hibrid *subsurface* lahan basah buatan (LBB) diperoleh beban organik 0,02 - 0,035 kg BOD/m³.h, dan perkiraan kebutuhan area LBB per orang adalah sekitar 0,13 - 0,2 kg BOD/m³.h. Sementara itu beban hidraulik sekitar 0,024 - 0,037 m³/m².h sesuai dengan kriteria $> 0,014$ dan $< 0,046$ m³/m².h (Reed 1993). Hal ini menunjukkan tidak terjadi penyumbatan akibat air limbah yang mengalir melalui media sehingga tidak terjadi penggenangan dan perkembangan bibit nyamuk/serangga. Akan tetapi selama pengoperasian unit hibrid LBB, sering ditemui kendala penggenangan yang dapat disebabkan antara lain oleh perubahan *headloss* antara influen dan effluen, *clogging* yang terjadi selama akumulasi padatan dari pengolahan primer.

Tabel 1. Penyisihan organik pada setiap unit proses IPAL komunal

	Jumlah pemakai	Unit 1 : Unit hibrid UASB+ Biofilter			Unit 2 : Unit fixed Biofilter		Unit 3 : Unit hibrid subsurface LBB		
		BOD influen (mg/L)	BOD effluen (mg/L)	Beban organik (kg BOD/ m ³ .h)	BOD effluen (mg/L)	Beban organik (kgBOD/ m ³ .h)	BOD effluen (mg/L)	Beban organik (kg BOD/ m ³ .h)	Beban hidraulik (m ³ /m ² .h)
Kondisi maksimum	50 KK	483	108.19	3,27	54.10	1,87	18.93	0,035	0,037
Kondisi rata rata	32 KK	296	94.72	1,39	47,36	0,83	16,58	0,02	0,024

Untuk penyisihan nutrisi pada IPAL komunal, diterapkan pengolahan lanjutan air limbah dengan sistem HLBB berupa tipe aliran vertikal dan horizontal serta ditanami tanaman semi akuatik. Menurut Kadlec and Knight, 1996, Wood, 2001 (Kelly 2006), ammonia atau ammonium nitrogen, adalah bentuk nutrisi yang paling banyak diserap oleh tanaman lahan basah sebagai faktor penting dalam pertumbuhan tanaman. Proses pengolahan yang terjadi pada sistem ini adalah filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme, dan absorpsi oleh akar-akar tanaman. Perkiraan penyisihan nitrogen di unit hibrid HLBB diuraikan pada Tabel 2, yang dikembangkan berdasarkan model k-C yang dimodifikasi

dari Kadlec and Knight's empirical model (1996), yaitu:

$$C_2 = C^* + (C_1 - C^*) \exp -kA/0,0365Q, \quad (4)$$

dimana:

C_2 = konsentrasi nitrat (NO_3) di efluen, mg/L

C^* = konstanta = 0,005

C_1 = konsentrasi nitrat (NO_3) di influen, mg/L

k = konstanta laju aktivitas bakteri sesuai suhu = 54

A = Luas (Ha)

Q = debit rata-rata (m^3/hari)

Pada unit HLBB-vertikal, penyisihan nitrat mencapai 51% sementara pada

Tabel 2. Penyisihan nitrogen di unit hibrid LBB-media tanah gambut

LBB vertikal bermedia kerikil

Influen (NO_3)	Area Plug Flow (m^2)	Q (m^3/hari)	Efluen (NO_3)	Penyisihan (%)	Beban Hidraulik ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$)	Waktu Retensi
41,62	128,33	26	20,0548	51,815	0,02	21,16
52,65	128,33	26	25,3690	51,816	0,02	21,16
39,43	128,33	26	18,9997	51,814	0,02	21,16
47,23	128,33	26	22,7576	51,815	0,02	21,16

LBB horisontal bermedia campuran kerikil, pasir dan tanah gambut

Influen (NO_3)	Area Plug Flow (m^2)	Q (m^3/hari)	Efluen (NO_3)	Penyisihan (%)	Beban Hidraulik ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$)	Waktu Retensi
20,05	409,5	26	1,9555	90,249	0,02	21,16
25,37	409,5	26	2,4725	90,254	0,02	21,16
19,00	409,5	26	1,8528	90,248	0,02	21,16
22,76	409,5	26	2,2184	90,252	0,02	21,16

Cat: $C^* = 0.005$

$Q_{\text{CW-H}} = 26 \text{ m}^3/\text{hari}$, $Q_{\text{CW-V}} = 15 \text{ m}^3/\text{hari}$

$K = 54$ (asumsi berdasarkan suhu)

unit HLBB-horizontal, kandungan nitrat dapat dikurangi sampai 90,2% dengan menggunakan luas area 26 m^2 . Pada unit HLBB-vertikal, air limbah didistribusikan di atas media dengan pipa berlubang dan dialirkan dengan drainase yang cepat serta dilengkapi pipa tegak berlubang untuk menambah udara pada bagian bawah dari media. Pada kondisi ini diharapkan ammonia mudah dioksidasi atau terjadi proses ni-

trifikasi, yakni nitrogen ammonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$).

Sedangkan unit HLBB-horizontal difungsikan untuk menyisihkan total nitrogen (TN) sehingga media didesain untuk mempunyai input oksigen sedikit mungkin, yaitu menggunakan campuran 1:2:3 untuk media kerikil, pasir, dan tanah

gambut. Pada unit ini diharapkan terjadi proses denitrifikasi atau proses biokimia untuk reduksi anion nitrogen yang telah teroksidasi, nitrat (NO_3^-) menjadi nitrit (NO_2^-) untuk menghasilkan gas oksida nitrogen (NO), nitrogen dioksida (N_2O), dan gas nitrogen (N_2), dengan memanfaatkan keberadaan zat organik atau organik karbon. Proses denitrifikasi tersebut dapat terjadi pada kondisi anaerobik dan aerobik. Sementara itu nitrit biasanya ditemukan pada konsentrasi rendah dan tidak stabil. Akar yang panjang dari tanaman air *papyrus* dan *canna* yang ditanam, memungkinkan menyerap nutrisi seperti fosfat dan nitrogen yang lebih banyak karena menjangkau area yang lebih luas dan dapat mentransfer oksigen ke dalam dasar media dan memungkinkan mikroorganisme tumbuh di sekitar perakaran.

KESIMPULAN

Sistem *loop* biofiltrasi skala komunitas mempunyai potensi untuk mendukung pengelolaan air di kawasan DAS tipe gambut dan tercemar. Sistem pengolahan air permukaan dapat mengkombinasikan proses biologis dan filtrasi multimedia untuk menunjang sanitasi publik serta disertai pengelolaan air limbahnya yang mengaplikasikan media tanah gambut untuk penyisihan organik dan nutrisi.

Untuk sistem pengolahan air baku air minum yang memiliki kadar warna sekitar 27 - 207 unit PtCo, dan telah tercemar aktivitas antropogenik dengan nilai COD > 100 mg/L, dapat menghasilkan air olahan yang dapat dimanfaatkan untuk sanitasi publik. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa penerapan kombinasi proses pengolahan biologis dan proses filtrasi multimedia,

dipengaruhi oleh karakteristik polutan air baku, filtrasi sempadan, stabilisasi biofilm, partisipasi masyarakat, dan pengelolaan sanitasi di sekitar sumber air baku.

Unit pengolahan air limbah pada sistem *loop* biofiltrasi, dapat mengombinasikan proses untuk beban organik tinggi, yaitu sistem hibrid UASB dan *fixed bed* biofilter serta pengolahan lanjutan dengan sistem hibrid lahan basah buatan (HLBB) bermedia tanah gambut. Berdasarkan kinetika aliran *plug flow*, diperoleh perkiraan penyisihan di setiap unit proses IPAL dapat memenuhi baku mutu air daur ulang dan menunjukkan beban organik sekitar 0,83 - 3,27 kg BOD/m³.h. Pada sistem HLBB bermedia gambut diperoleh beban organik 0,02 - 0,035 kg BOD/m³.h dan perkiraan kebutuhan area HLBB per orang adalah sekitar 0,13 - 0,2 kg BOD/m³.h. Pada tahap stabil, menunjukkan penyisihan organik dan nitrogen lebih dari 90 %.

Penelitian sistem *loop* biofiltrasi skala komunitas perlu dikaji kontribusinya terhadap pengelolaan air terintegrasi di kawasan DAS, terutama yang bertipe gambut. Potensi replikasi di kawasan lainnya pada skala komunitas, dipertimbangkan berdasarkan kepentingan bagian hulu sampai hilir, karakteristik iklim maupun geologi, kemampuan masyarakat, dan keterlibatan institusi untuk pemantauan dampak ataupun keberlanjutan pengelolaannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR, yang telah membiayai penelitian penerapan teknologi air minum dan sanitasi di kawasan DAS Siak dan semua pihak serta para pembimbing teknis kegiatan Ir. Nurhasan-

ah S., MM, Ir. Ida Yudiarti, MSi, dan Prof (R). Dr. R. Pamekas yang telah mendukung penelitian serta tersusunnya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcamo, Joseph. 2003. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington: Island Press.
- Ayati, B., and H. Ganjidoust. 2006. "Comparing The Efficiency of UAFF And UASB with Hybrid Reactor in Treating Wood Fiber Wastewater." *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 3 (1): 39–44. <http://ijehse.tums.ac.ir/index.php/ijehse/article/view/69>.
- Daigger, Glen T. 2008. "New Approaches and Technologies for Wastewater Management." *The Bridge* 38 (3): 38–45.
- Eckenferlder, W. 1989. *Industrial Water Pollution Control*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislnd.exe/iah/online/?IsisScript=iah/s&s-rc=google&base=REPIDIS-CA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=100319&indexSearch=ID>.
- Eddy, Metcalf &, Franklin L Burton, H David Stensel, and George Tchobanoglous. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw Hill.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air, Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. Kanisius.
- Forsberg, Curt. 1998. "Which Policies Can Stop Large Scale Eutrophication?" *Water Science and Technology* 37 (3). Elsevier: 193–200.
- Headley, Tom R. 2006. "Suitability of Peat Filters for On-Site Wastewater Treatment in the Gisborne Region." New Zealand.
- Herlambang, Arie dan Nusa Idaman. 2010. "Penurunan Kadar Zat Organik Dalam Air Sungai Dengan Biofilter Tercelup Struktur Sarang Tawon."
- Kelly, Carrie. 2006. *Stormwater Treatment Areas: Experiences with Nitrate Removal*. Florida Port St. Lucie: Department Environmental Protection.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2009. *Status Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta.
- Mara, Duncan. 2013. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Routledge.
- Philip, Ralph, B Anton, and P der Steen. 2011. "SWITCH Training Kit." *Integrated Urban Water Management in the City of the Future. Module 1*.
- Reed, S.C. 1993. *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, A Technology Assessment*. USEPA.
- USEPA. 2004. *The Guidelines for Water Reuse*. Washington.
- Zouboulis, Anastasios I, Xiao-Li Chai, and Ioannis A Katsoyiannis. 2004. "The Application of Bioflocculant for the Removal of Humic Acids from Stabilized Landfill Leachates." *Journal of Environmental Management* 70 (1). Elsevier: 35–41.