

PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK DENGAN TEKNOLOGI TAMAN TANAMAN AIR (*Constructed Wetlands*)

Anna Catharina Sri Purna Suswati^{1,2} dan Gunawan Wibisono³

¹Program Studi Kajian Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katholik Widya Karya, Malang, Indonesia

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka, Malang, Indonesia

Abstrak

Perkembangan penduduk dan keterbatasan sarana sanitasi dan instalasi pengolahan air limbah menyebabkan tingginya pencemaran air permukaan, terutama air sungai. Instalasi Pengolah air Limbah rumah tangga dipandang mahal dan sulit diterapkan di negara berkembang. Namun, *constructed wetland (CW)* menawarkan teknologi mudah dan murah dalam perencanaan maupun pengoperasian sistem pengolahan air limbah rumah tangga. Dalam tulisan ini dibahas mengenai tipe CW, jenis tanaman yang digunakan dalam CW, media tumbuh dalam CW, bentuk CW, kinerja CW, dan biaya ekonomisnya. *Constructed Wetland* tipe *Free Surface Flow*, cocok di pinggiran kota, sebagai pengolah air limbah secara terpusat dan sekaligus menjadi tempat rekreasi. *Constructed Wetland* tipe *Horizontal Subsurface Flow (SSF)* cocok untuk daerah perkotaan yang tidak terjangkau fasilitas pengolahan air limbah yang terpusat, sehingga dapat dibangun secara individual. CW tipe *SSF* lebih fleksibel dalam penempatannya, dan tidak memerlukan lahan yang luas. Pemilihan jenis tanaman dalam CW-*SSF* disesuaikan dengan lokasi tempat CW dibangun, teduh atau terpapar panas. Kinerja CW lebih baik menggunakan kombinasi berbagai jenis tanaman, dibandingkan dengan menggunakan tanaman tunggal.

Kata kunci: *Constructed Wetlands*, air limbah Domestik.

Abstract

Population growth and limited sanitation facilities and waste water treatment facilities leading to high pollution of surface water, particularly river water. The household wastewater processing installation is considered expensive and difficult to implement in developing countries. However, the constructed wetland (CW) technology offers an easy and inexpensive in the planning and operation of the wastewater treatment system of the household. This paper discussed the CW type, species of plants used in CW, plant growing medium, form of CW, performance of CW, and economic costs of CW. Constructed Free Surface Flow Wetland type, is suitable in the suburbs areas, as a centralized wastewater treatment and as well as a recreation area. Constructed Wetland Type Horizontal Subsurface Flow (SSF) is suitable for urban areas are not affordable by the centralized wastewater treatment facilities, so it can be built individually. CW-SSF type is more flexible in its placement, and do not require large area of land. The species in the CW-SSF was adapted to the location where CW is built, shady or exposed to sunshine. CW performance is better to use a combination of different species of plants, compared to using a single species of plant.

Keywords: *Constructed Wetlands*, household wastewater.

PENDAHULUAN

Ketertinggalan di bidang pembangunan sanitasi memicu berbagai permasalahan, diantaranya penurunan kualitas air tanah dan air permukaan, pencemaran udara hingga kesehatan masyarakat yang pada akhirnya menurunkan daya saing bangsa dan negara (Wibisono dan Sukowati, 2010). Perkiraan UNDP tahun 2006, setiap menit lebih dari 3 anak kehilangan nyawa karena penyakit yang berhubungan dengan sanitasi yang buruk (Raude *et al.*, 2009). Sehingga tuntutan akan pengolahan air limbah untuk perbaikan sanitasi semakin meningkat

khususnya di Indonesia, sejalan dengan meningkatnya beban pencemaran air permukaan maupun air tanah.

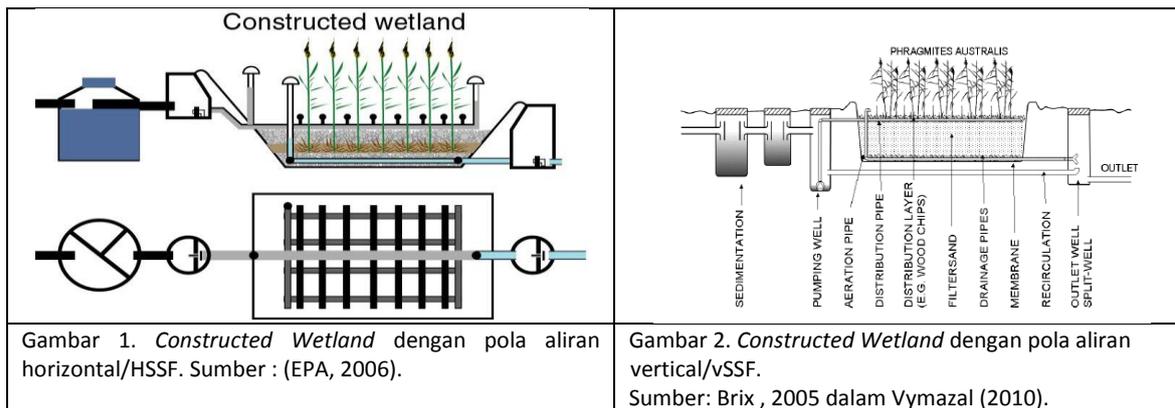
Pencemaran air sungai 60% - 70% berasal dari limbah domestik (Ismuyanto, 2010), dengan kontribusi pencemar dari DAS Brantas 60% berasal dari limbah domestik (sanitasi, sampah, detergen); 30% limbah industri; dan 10% limbah pertanian dan peternakan. Oleh karenanya penting untuk memperbaiki sistem sanitasi, salah satunya dengan cara mengolah air limbah sebelum dibuang ke badan air untuk mengurangi beban pencemar air permukaan yang dimanfaatkan sebagai sumber air. Salah satu cara pengolahan air limbah adalah *Constructed Wetlands (CWs)*. Tujuannya adalah untuk memperbaiki kualitas air dan mengurangi efek berbahaya dari limbah, serta menyumbang upaya konservasi air. Secara umum *CWs* dibedakan

Alamat Korespondensi

Anna Catharina Sri Purna Suswati

Email : anna_sps@yahoo.com

Alamat : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katholik Widya Karya, Malang, Indonesia



Gambar 1. *Constructed Wetland* dengan pola aliran horizontal/HSSF. Sumber : (EPA, 2006).

Gambar 2. *Constructed Wetland* dengan pola aliran vertical/vSSF. Sumber: Brix , 2005 dalam Vymazal (2010).

Tabel 1. Tipe tanaman dan bagian yang berhubungan dengan kolom air dalam *Constructed Wetlands*

Tipe Lahan Basah	Tipe Tanaman	Bagian yang berhubungan dengan kolom air
Permukaan Air Bebas	Tanaman yang muncul di permukaan air	Batang, sebagian daun terkena air (umumnya tanaman tidak terendam)
	Melayang	Zona perakaran, sebagian batang/umbi
	Submerge	Bagian untuk fotositesis dan memungkinkan juga pada zona perakaran
Aliran di bawah permukaan	Tanaman yang muncul di permukaan air	Zona perakaran

Sumber: Mitchell, Wiese dan Young (1998).

menjadi dua yaitu *Free Water Surface (SWF)* yang tampak sebagai kolam atau danau, dan *Subsurface Flow (SSF)* yang dapat dikemas sebagai taman.

Dalam artikel ini akan diulas mengenai macam-macam *Constructed Wetlands*, fungsi *Constructed Wetlands*, sistim pengolahan limbah menggunakan *Constructed Wetlands*, kajian ekonomi dan pemanfaatan *Constructed Wetlands* sebagai Taman Tanaman Air. Kondisi perumahan di Indonesia saat ini pada umumnya hanya memiliki halaman sempit, bahkan tidak ada halaman tersisa. Oleh karenanya perlu dilakukan pengembangan teknologi *Constructed Wetland* yang dapat diterapkan pada halaman sempit.

Macam-macam *Constructed Wetlands*

Constructed Wetlands adalah salah satu rekayasa sistem pengolah limbah yang dirancang

dan dibangun dengan melibatkan tanaman air, tanah atau media lain, dan kumpulan mikroba terkait (Greg, Young dan Brown, 1998). *Constructed Wetlands* dirancang dengan perlakuan lebih terkontrol, misalnya dengan pengaturan *Hydraulic Retention Time (HRT)* dan *Hydraulic Loading Rate (HLR)* (Vymazal, 2010) untuk mempertimbangkan dimensinya. Dari aspek hidraulika dapat diklasifikasikan menjadi *CWs* dengan permukaan air bebas (*Free Water Surface/FWS*) dan *CWs* aliran di bawah permukaan (*Sub Surface Flow/SSF*). Berdasarkan pola aliran, *CWs* dapat diklasifikasikan menurut arah aliran horisontal dan vertikal (Vymazal, 2010). Skema *Constructed Wetlands SSF* dan ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.

Berdasarkan jenis tanaman yang digunakan untuk masing-masing tipe *CWs* dan



Gambar 3: Penerapan CW dalam gedung (Austria)
Sumber: Weissenbacher dan Mullegger, 2009)

Gambar 4 : Constructed Wetland komunal

bagian tanaman yang kontak dengan kolom air ditampilkan dalam Tabel 1.

Dari tipe vegetasi, sebagian besar jenis tanaman sesuai untuk tipe *CWs Free Water Surface*. Untuk *CWs* dengan tipe *Sub Surface Flow* menggunakan vegetasi jenis *emergent*, dimana hanya bagian akar yang terendam air (Mitchell, Wiese dan Young, 1998). Pada sistem *FWS*, aliran air berada di atas dasar wetland, dan akar tanaman berada pada lapisan endapan dasar kolom air. Pada sistem *SSF*, aliran air menembus media berpori seperti kerikil, tempat akar tanaman berada. Dengan memperhatikan kondisi fisik *FWS* dan *SSF*, maka *FWS* lebih tepat dibangun di pinggiran kota, karena memerlukan lahan yang cukup luas sehingga bisa menjadi tempat rekreasi misal tempat pemancingan. Namun hal yang harus dipertimbangkan adalah apakah memungkinkan untuk memelihara ikan pada *CWs* yang berfungsi sebagai pengolah limbah, khususnya limbah industri. Kondisi fisik *CWs* dengan sistem *SSF* yang dapat ditampilkan sebagai taman (Tencer *et al.*, 2009) lebih fleksibel dalam penempatannya, baik sebagai taman di halaman rumah maupun komunal pada satu lingkungan kelompok rumah, bahkan di dalam gedung. Gambar 3 dan 4 menunjukkan penampilan *CWs SSF* sebagai sebuah taman.

Secara garis besar beberapa kelebihan *CWs* dengan sistem *SSF* (Kadlec dan Knight, 1996), adalah: (1) Konstruksi sederhana, sehingga mudah dalam pembuatannya; (2) fleksibel dalam pemilihan lokasi penempatan (di dalam maupun di luar ruangan); (3) keleluasaan dalam sistem operasi (misal sistem gravitasi atau menggunakan pompa); (5) biaya murah, karena jika menggunakan sistem gravitasi maka pemanfaatan energi dari luar hanyalah sinar matahari; (6) karena limbah tidak kontak dengan

udara luar, maka tidak timbul bau; (7) kinerja bisa diandalkan; (8) tidak menjadi tempat berkembangnya nyamuk; dan (9) dapat ditampilkan sebagai sebuah taman yang memiliki nilai estetika.

Constructed Wetlands dirancang, direncanakan, dibuat dan dioperasikan untuk memberikan berbagai tujuan. Sesuai dengan filosofi dan pendekatannya, *CWs* dibuat multi tujuan, misalnya pengolahan limbah, penyediaan keragaman habitat dan satwa liar, mendukung kegiatan rekreasi, penyimpanan air selama musim kering, dan menambah nilai estetika di lingkungan (Greg, Young dan Brown, 1998; Benyamine, Backstrom dan Sanden, 2004; Knight, Clarke dan Bastian, 2000; Dallas, Scheffe dan Ho, 2005). Fungsi *CWs* sebagai pengolah limbah bukan hanya mengolah air limbah domestik, tetapi juga limbah industri, limbah rumah sakit maupun limbah pertambangan. Untuk masing-masing fungsi sebagai pengolah limbah, harus dirancang sesuai dengan karakter limbah yang diolah. Sebagai pengolah limbah domestik, maka *CWs* harus didisain memenuhi fungsi estetika, sehingga bisa ditampilkan sebagai Taman Tanaman Air di lingkungan rumah.

Media dalam *SSF Constructed Wetlands*

Untuk meningkatkan kinerja *CWs*, selain memanfaatkan tanaman air, *CWs* juga didisain dengan variasi media. Kerikil, dan botol bekas air mineral (*pets*) juga dapat dimanfaatkan sebagai media tanam (Dallas, Scheffe dan Ho, 2005), demikian pemanfaatan zeolit, arang dsb. *Pets* dimanfaatkan untuk menambah ruang gerak pada sistem perakaran tanaman (*reedbeds*). Variasi penggunaan media juga dikembangkan untuk menunjang perkembangan mikroba dan penurunan kandungan bahan pencemar. Media dalam *CWs* sangat variatif dan bisa saling

dikombinasikan seperti kerikil, *pets*, arang, sekam, zeolit dan lain-lain sesuai dengan tujuan penggunaan CWs. Kombinasi penggunaan media juga dapat meningkatkan kinerja SSF CWs. Penerapan horizontal *Sub Surface Flow CWs* untuk mengolah limbah pertanian dengan menggunakan **zeolit** memberikan hasil penurunan polutan NO₃-N (86%), Zn (99.76%), sementara konsentrasi Pb dan Cd pada *outflow* di bawah batas deteksi (Sarafraz et al., 2009). Gambar 3 menunjukkan bahwa CWs bisa digunakan sebagai pengolah limbah yang sekaligus menambah nilai estetika di dalam bangunan maupun lingkungan perumahan. Dengan pertimbangan tersebut, maka CWs dengan tipe SSF akan lebih dipilih untuk mengolah limbah domestik terutama di permukiman, karena bisa ditampilkan sebagai taman, dan tidak memberi peluang berkembangnya nyamuk (Kadlec dan Knight, 1996).

Proses dalam *Constructed Wetlands*

Dalam menghilangkan atau mengurangi kandungan bahan pencemar, beberapa proses terjadi di dalam CWs. Proses yang terjadi adalah fisik, biologi dan kimia. Mekanisme penurunan polutan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Macam polutan dan proses penurunan konsentrasi di dalam CWs.

Polutan	Proses Penurunan
• Material organik (diukur dalam bentuk DO)	• Proses biologis, sedimentasi, penyerapan oleh mikroba
• Kontaminan organik (pestisida)	• Adsorbs, volatilisasi, fotolisis, degradasi biotik/abiotik
• <i>Suspended solid</i>	• Sedimentasi

Sumber: Mitchell, Wiese dan Young (1998).

Sistem SSF paling sesuai untuk pengolahan primer dari limbah, karena tidak kontak langsung dengan kolom air dan atmosfer. Konsekuensinya tidak ada peluang bagi cacing untuk makan, dan sistem ini aman bagi perspektif kesehatan masyarakat. Oleh karena itu sistem SSF sangat berguna untuk mengolah aliran *septic tank* atau air bekas setempat. Sistem SSF juga digunakan untuk *landfill leachate* (lindi pada sistem pengolahan sampah) dan limbah lain yang membutuhkan penghilangan material organik pada konsentrasi tinggi, seperti SS, nitrat, patogen dan polutan lain. Karena air limbah berada di bawah permukaan, dan rentang dari nisya ekologi lebih kecil. Sistem SSF juga tergantung pada keanekaan spesies yang lebih rendah dari pada sistem FWS. Lingkungan dasar SSF kebanyakan dalam kondisi anoxic atau

anaerobic. Ketersediaan oksigen disuplai ke dalam air limbah oleh akar dari tanaman yang muncul, tetapi oksigen ini digunakan kembali untuk pertumbuhan biofilm langsung pada akar dan rimpang. Oleh karenanya sistem SSF bagus untuk menghilangkan nitrat (denitrifikasi). Proses ini tidak untuk oksidasi amoniak (nitrifikasi), karena selama tersedia oksigen akan membatasi tahapan dalam nitrifikasi. Sehingga jika limbah banyak mengandung amoniak, maka proses penghilangan amoniak yang efektif digunakan adalah dalam kondisi anaerob. Bagaimanapun hal itu efisien dalam menurunkan nilai BOD dan Suspended Solids (SS) (Dallas, Scheffe dan Ho, 2005).

Pada umumnya sistem SSF digunakan untuk waktu yang kontinu menggunakan aliran horizontal (*hSSF*). Aliran yang kontinyu seperti *wetland* tersebut menerima air limbah setiap saat. Hal ini kontras dengan *intermittently loaded* sistem, dimana penerimaan air limbah secara bergelombang, misal selama 10 menit setiap jam. Sistem aliran vertical SSF (*vSSF*) frekuensinya lebih sering digunakan di Australia, UK dan Eropa. Seringkali sistem *vSSF* juga digunakan, dimana hasilnya signifikan dengan oksigenasi biofilm selama hujan (*non loading*) yang merupakan bagian dari siklus. Masalah yang paling umum terjadi pada sistem *hSSF* adalah penyumbatan, terutama di sekitar zona pemasukan. Umumnya hal ini terjadi karena perancangan hidraulika yang kurang, distribusi aliran yang kurang pada *inlet* dan pilihan kurang tepat dari media berpori, pada sistem secara keseluruhan, atau kombinasi dari berbagai faktor. Namun masalah penyumbatan pada zona *inlet* bisa diatasi dengan menempatkan kerikil berdiameter besar ± 50 mm di sekitar zona *inlet* tersebut.

Kinerja *Constructed Wetlands*

Kinerja CWs bisa dilihat dari kemampuannya dalam menurunkan kadar pencemar atau parameter pencemar. Beberapa penelitian menunjukkan hasil persentase penurunan polutan misal BOD hingga mencapai 60% - 99.7% (Raude et al., 2009; Weissenbacher dan Mullegger, 2009; Dallas, Scheffe dan Ho, 2005). Keterbatasan CWs dalam meningkatkan kualitas air adalah: (1) Kecepatan proses: tergantung pada faktor-faktor lingkungan seperti suhu, ketersediaan oksigen, pH, dll.; (2) Keterbatasan hidrologis: *hydraulic overload* ketika arus melebihi kapasitas disain menyebabkan waktu retensi terlalu singkat untuk penghapusan polutan secara efektif (Greg, Young dan Brown, 1998); (3) Keterbatasan lingkungan

misal: material organik, nutrisi atau racun, dan kekurangan oksigen; dan (4) Keterbatasan lahan sehingga dimensi CWs tidak memenuhi waktu tinggal untuk proses penurunan polutan. Perbandingan kinerja CWs berdasarkan bentuk reaktor dengan menggunakan tanaman air yang sama dalam menurunkan kadar polutan disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Efisiensi penurunan TS, COD dan LAS waktu tinggal 1 hari dan reaktor berbentuk **bujur sangkar**

Parameter	Cattail	Kana
TS	52%	56%
COD	65%	61%
LAS	48%	42%

Sumber: Dhokikah (2006).

Tabel 4. Efisiensi penurunan TS, COD dan LAS waktu tinggal 1 hari dan reaktor berbentuk **persegi panjang**

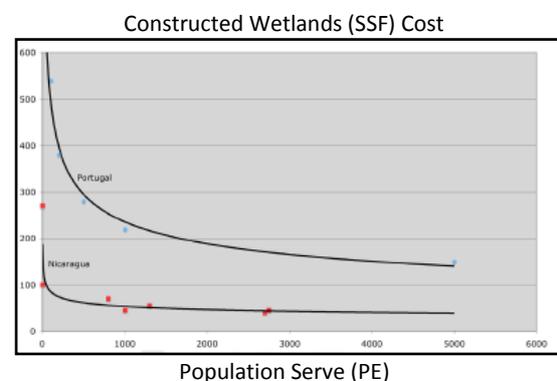
Parameter	Cattail	Kana
TS	41%	46%
COD	72%	72%
LAS	68%	65%

Sumber: Dhokikah (2006).

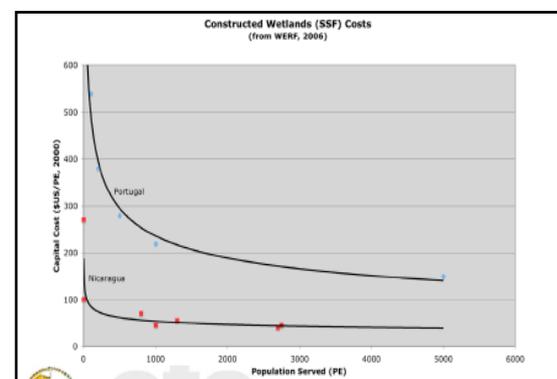
Dengan perbedaan bentuk reaktor sebagaimana disajikan pada Tabel 3 dan 4, menunjukkan bahwa reaktor berbentuk empat persegi panjang memiliki kinerja yang lebih baik dalam menurunkan COD dan LAS. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *Cattail* memiliki kinerja yang baik dalam menurunkan beban pencemar dalam bentuk COD dan TSS, untuk waktu tinggal 1 hari dan 3 hari. Dari kedua penelitian tersebut belum nampak kinerja optimal *Constructed Wetlands* pada waktu tinggal berapa hari. Penelitian lain dilakukan di Kota Nakuru Kenya, untuk mengolah limbah cair domestik (*grey water*) ditampilkan pada Tabel 5.

Kinerja *Constructed Wetland* dengan ukuran $2 \times 1 \text{ m}^2$ dan kedalaman 0.86 m yang didahului dengan proses *pre treatment*, dan waktu tinggal 2 hari menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan kinerja reaktor dari penelitian lain

(Raude et al. (2009). *Constructed Wetland* ini menggunakan rumput *Vetiveria zizanioides* (akar wangi). Kemampuan CWs dengan waktu tinggal 2 hari mampu menurunkan kadar TSS sebesar 97% dan BOD_5 99,7%, menggunakan CWs dua tahap dengan menggunakan tanaman *Coix lacryma-jobi* memberikan hasil penurunan BOD sebesar 99.4%, penurunan kadar *Coliformes* sebesar 99.9% (Dallas, 2006). Dengan demikian penggunaan rumput *Vertiveria zizanioides* memberikan hasil yang baik dalam mereduksi kadar BOD_5 , namun kurang dalam menurunkan kadar *coliformes*. Dari hasil tersebut, maka pemilihan jenis tanaman akan menunjang kinerja CWs bila mempertimbangkan jenis limbah yang akan diolah.



Sumber: Dallas (2006) Capital Cost (\$US/PE, 2000)



Sumber: Dallas (2006).

Tabel 5. Kinerja Horizontal Sub Surface Flow-Constructed Wetland di Crater View Secondary School

Parameter	Units	Influent	Effluent	Reduction
EC	$\mu\text{S/cm}$	1929	1644	14
Salinity	g/l	1.00	0.80	20
DO	mg/l	3.01	0.08	-
TDS	mg/l	1257	1084	14
BOD_5	mg/l	104.0	0.33	99.7
TSS	mg/l	255	9.00	97
TP	mg/l	2.43	0.29	88
FC	Log 10FC/100 ml	4.97	4.09	18
NH_4	mg/l	3.17	0.09	97

Sumber: Raude et al. (2009).

Teknologi *Constructed Wetlands* dapat diterapkan untuk daerah perkotaan yang tidak terjangkau fasilitas pengolah limbah rumah tangga secara terpusat, atau tidak memiliki sarana pengolah limbah terpusat. Untuk sistem perkotaan di Indonesia, di mana perencanaan sering berubah, bahkan kadang tidak *integrated*, maka penerapan teknologi akan lebih ekonomis untuk sistem desentralisasi dibandingkan dengan sistem sentral. Karena untuk pembangunan sarana pengolah limbah sentral akan memakan biaya besar dalam jaringan perpipaan. *Constructed Wetlands* bisa diterapkan pada sebuah perumahan dengan sistem *cluster*, dimana *CWs* dibangun secara komunal.

Taman Tanaman Air sebagai pengolah limbah domestik

Dari uraian di atas dikemukakan bahwa *Constructed Wetlands* dapat digunakan untuk pengolahan air limbah secara biologis dengan memanfaatkan kemampuan tanaman untuk menurunkan kadar polutan. Kemampuan masing-masing jenis tanaman dalam menurunkan kadar polutan tidak sama. Kinerja *CW* lebih efektif dalam menurunkan polutan jika menggunakan beberapa jenis tanaman dibandingkan jika hanya menggunakan satu jenis tanaman (Fraser, Carty dan Steer, 2003; Karahanasis, Potter dan Coyne, 2003). Hasil ringkasan dari 22 artikel yang dilakukan Vymazal (2011) membandingkan efisiensi pengolahan pada *CW* dengan tanaman dan tanpa tanaman yang menyimpulkan bahwa 20 (90%) memberikan pengaruh positif dengan beberapa tanaman pada beberapa parameter kualitas air. Kinerja *CWs* selain dipengaruhi oleh kemampuan tanaman juga dipengaruhi oleh media tanaman, baik jenis maupun ukurannya, serta dimensi *CW* itu sendiri berkenaan dengan waktu tinggal limbah.

Dalam perencanaan peletakan atau pemilihan lokasi *CWs* juga akan mempengaruhi pemilihan jenis tanaman. Untuk lokasi yang banyak terpajan sinar matahari (panas), maka juga harus dipilih tanaman yang hidup di daerah yang cukup sinar matahari. Sebagai misal *Vetiveria zizanioides*, *Typha angustifolia*, *Canna Sp* dll. (Raude et al., 2009; Mukhlis, 2003; dan Suswati, 2010; Vymazal, 2011). Sementara untuk lokasi teduh bisa dipakai tanaman *Irish pseudacoccus*, *Spathiphyllum sp*, *Philodendron sp*. dll. (Karahanasis, Potter dan Coyne, 2003; Weissenbacher dan Mullegger, 2009). Bahkan *Spathiphyllum sp* dan *Philodendron sp*. dapat diterapkan untuk *CWs* di dalam ruangan (*indoor*) (Weissenbacher dan Mullegger, 2009).

Pertimbangan-pertimbangan perencanaan *CWs* (Greg, Young dan Brown, 1998) adalah: (1) Multi tujuan, tidak hanya isu tradisional untuk drainasi dan kualitas air; (2) melibatkan komunitas masyarakat; (3) dilengkapi dengan program penyadaran masyarakat; dan (4) adanya ketersediaan lahan cukup luas, dll. Dengan pertimbangan estetika dan lokasi *CWs*, maka bisa dipilih jenis tanaman yang sesuai dan memiliki nilai estetika. Dan berdasarkan salah satu pertimbangan pembangunan *CWs* adanya ketersediaan lahan cukup luas, maka menjadi sebuah tantangan di Indonesia (dimana *CWs* belum begitu populer) untuk mensosialisasikan teknologi ini. Karena ketersediaan lahan di lingkungan permukiman di Indonesia saat ini sudah sangat terbatas. Bahkan tidak sedikit rumah yang berada di perumahan sudah tidak memiliki halaman sama sekali. Kondisi inilah yang perlu dipecahkan dalam upaya menanggulangi atau mengurangi beban pencemaran sumber air permukaan atau sungai dan upaya konservasi air. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dapat dilakukan dengan modifikasi sistem di dalam *CWs*. Salah satunya adalah modifikasi pola aliran. Untuk menambah nilai estetika *CWs* yang dibangun secara individual di rumah-rumah, atau dibangun secara komunal di lingkungan permukiman menggunakan jenis tanaman yang memiliki kemampuan mengolah limbah sekaligus memiliki nilai estetika. Sehingga *CWs* yang dibangun dapat menjadi sebuah Taman Tanaman Air.

KESIMPULAN

Dari pembahasan dapat disimpulkan bahwa *Constructed Wetlands* merupakan teknologi hijau yang efisien untuk menurunkan kadar pencemar dalam limbah cair. *Constructed Wetlands* tidak hanya dimanfaatkan untuk mengolah limbah cair domestik, tetapi juga untuk limbah industri maupun tambang. *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands (hSSF CWs)* merupakan teknologi yang sesuai untuk diterapkan di daerah perkotaan yang tidak terjangkau fasilitas pengolah limbah terpusat. Dengan pemilihan media dan kombinasi penggunaan media dapat meningkatkan kinerja *CWs* dalam menurunkan kadar polutan. Sementara pemilihan jenis tanaman dilakukan untuk menyesuaikan dengan lokasi *Constructed Wetlands* berkenaan dengan paparan sinar matahari dan berdasarkan pertimbangan estetika. Secara ekonomi pembangunan *CWs* sangat efisien, khususnya dalam hal operasional.

Karena biaya operasional hanya dibutuhkan jika memerlukan pompa. Apabila sistem pengaliran bisa dilakukan secara gravitasi, maka tidak diperlukan biaya operasional. Pembangunan *Constructed Wetlands* secara komunal akan lebih hemat dibandingkan pembangunan secara individual.

DAFTAR PUSTAKA

- Benyamine, M., N.Bäckström dan P.Sandén. 2004. Multi-objective environmental management in constructed wetlands. *Environ. Monitor. Assess.* 90: 171-185.
- Dallas, S. 2006. *Constructed Wetland for Waste Water Treatment. Presentasi Sustainable Sanitation and Wetland Technology (Workshop, 2006): ITC Murdoch University; IEMT Universitas Merdeka Malang.*
- Dallas, S., B.Scheffe dan G.Ho. 2005. Reedbeds for greywater treatment—case study in Santa Elena— Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecol. Eng.* 23: 55-61.
- Dhokikah, Y. 2006. *Pengolahan Air Bekas Domestik Dengan Sistem Constructed Wetland Aliran Subsurface Untuk Menurunkan COD, TS dan Deterjein. Tesis Program PascaSarjana Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.*
- Fraser, L.H., S.M.Carty dan D.Steer. 2003. A Test for Plant Species to Reduce Total Nitrogen and Total Phosphorus From Soil Leachate in Subsurface Wetland Microcosmos. *Bioresour.Technol.* 2004, 94: 185-192.
- Greg,W., R.Young dan M.Brown. 1998. *Constructed Wetlands Manual, vol 1. Department of Land and Water Conservation New South Wales, Australia.*
- Ismuyanto, B. 2010. *Pencemaran Karena Pembangunan (Materi Seminar).*
- Kadlec, R.H. dan R.L.Knight. 1996. *Treatment Wetlands; CRC Press/Lewis Publishers: Boca Raton, FL, USA.*
- Karahanasis,A.D., C.L.Potter dan M.S.Coyne. 2003. Vegetation Effect on Fecal Bacteria, Bod, and Suspended Solid Removal in Constructed Wetlands Tertating Domestic Wastewater. *Ecol. Eng.* 2003, 20: 157-169.
- Karczmarczyk, A. dan G.Renman. 2011. Phosphorus Accumulation Pattern in a Subsurface Constructed Wetland Treating Residential Wastewater. *JournalWater*, 3, 146-156; doi:10.3390/w3010146 ISSN 2073-4441.
- Knight, R.L., R.A.Clarke Jr. dan R.K.Bastian. 2000. Surface flow (sf) treatment wetlands as a habitat for wildlife and humans. *Wat. Sci. Tech.* 2000, 44: 27-38.
- Knight, R.L., V.W.E.Payne Jr., R.E.Borer, R.A.Clarke Jr. dan J.H.Pries. 2000. Constructed wetlands for livestock wastewater management. *Ecol. Eng.* 2000, 15: 41-55.
- Mitchell, C., R. Wiese dan R.Young. 1998. *Constructed Wetlands Manual Vol 2, Chapter 17 (Design of Wastewater Wetlands), p 258-259. Department of Land and Water Conservation New South Wales, Australia*
- Mukhlis. 2003. *Studi Kemampuan Tumbuhan Air, Reed (Phragmites australis) dan Cattail (Typha angustifolia), Dalam Sistem Constructed Wetland untuk Menurunkan COD dan TSS Air Limbah. Tesis Program Pasca Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.*
- Raude J.B. M.Mutua, L.Chemelil, K.Kraft dan Sleytr. 2009. Household greywater treatment for peri-urban areas of Nakuru Municipality, Kenya. *Journal of Sustainable Sanitation Practice* , 2009,1, 10-15. *EcoSan Club, Austria*
- Sarafraz,S., T.A.Mohammad, J. Megat, M. Noor dan A.Liaghat. 2009. Wastewater Treatment Using Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland. *American Journal of Environmental Sciences* 5 (1): 99-105
- Suswati, A.C.S.P. 2010. *Studi Kemampuan Tanaman Iris pseudacorus Untuk Mengolah Limbah Cair Rumah Tangga (Greywater) Dalam Sistem Constructed Wetland. PenelitianDosen Muda, DP2M-Dikti.*
- Tencer, Y., G.Idan, M.Strom, U.Nusinow, D.Banet, E.Cohen, P.Schroder, O.Shelef, S.Rachmilevitch dan I.Soares. 2009. Establishment of a Constructed Wetland in Extreme Dryland. *Environmental Science Pollutant Res.* 2009, 16, 862-875

- Vymazal, J. 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, *Journal Water* 2010, 2, 530-549, ISSN 2073-4441,
- Vymazal, J. 2011. Plants Used in Constructed Wetland with Horizontal Subsurface Flow: A review, *Hdrobiologia* 2011, 674: 133-156.
- Vymazal, J. dan L.Kröpfelová. 2008. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*; Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Weissenbacher, N. dan E.Müllegger. 2009. Combined Greywater Reuse and Rainwater Harvesting in an Office Building in Austria: Analyses of Practical Operation. *Journal Ecological Sanitation Practice* issue 1.10/2009, 4-9.
- Wibisono, G. dan P.Sukowati. 2010. Pengelolaan IPAL Komunal Melalui Struktur Kelembagaan Masyarakat Sebagai Bentuk Pengawasan dan Pengendalian Bapedalda Jawa Timur dalam Upaya Pelestarian Fasilitas Penting Bidang Sanitasi. *Penelitian Hibah Bersaing*.