

## KEMAMPUAN SUB SURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND UNTUK MEMPERBAIKI KUALITAS AIR LIMPASAN LINDI

Awalina Satya, Lani Puspita, Senny Sunanisari dan Fachmijany Sulawesty

Pusat Penelitian Limnologi-LIPI  
Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong, Bogor,

Email: [awalina@gmail.com](mailto:awalina@gmail.com)

### ABSTRAK

Air limpasan lindi yang tidak diolah terlebih dulu diketahui banyak mengandung polutan terlarut yang membahayakan biota di lingkungan akuatik. Oleh sebab itu perlu dibuat sebuah sistem pengolah limbah cair yang murah dan ramah lingkungan. Sebuah sistem rawa buatan jenis aliran vertikal bawah permukaan (Sub Surface Flow Constructed Wetland, SSFCW) dalam skala pilot berlokasi di Pusat Penelitian Limnologi (P2L)-LIPI Cibinong, telah digunakan untuk mengolah air limpasan lindi yang berasal dari TPA Rawa Kucing, Tangerang. Konstruksi rawa buatan ini terdiri atas 7 tangki yang disusun secara seri dan berundak sedemikian rupa agar memiliki waktu retensi tinggi dan hemat energi. Kualitas air yang diobservasi adalah Zn, Hg, Pb, orto fosfat, pH, oksigen terlarut (DO), Amonia, Total Nitrogen (TN), Total fosfor (TP), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Total Suspended Solid (TSS). Pengukuran parameter kualitas air diukur pada outlet tangki II (sedimentasi), tangki III (berisi arang kayu rambutan), dan 3 tangki SSFCW berisi substrat ditumbuhkan *Canna sp* (tangki IV), *Hydrilla verticillata* ( tangki V), *Nymphaea sp* (tangki VI) serta tangki VII (penjernihan). Tujuannya adalah untuk mengetahui progres efisiensi pengolahan seiring dengan mengalirnya air limpasan lindi melalui SSCW. Reduksi amonia,TN,orto fosfat dan TP berturut turut 93.88 %, 85.82 %, 94.04%,dan 90.69%. Sebaliknya COD, TSS, Pb, Hg, Zn berturut-turut hanya 50.76%, 43.12%, 11.82 %, 51.92%, dan 22.91%. Nilai DO dan pH cenderung meningkat tampaknya disebabkan oleh adanya pengaruh aktifitas fotosintesis, sedangkan kecenderungan peningkatan TSS pada akhir masa observasi tampaknya terkait aktifitas degradasi tumbuhan yang sudah mati. Secara umum SSCW ini mampu memperbaiki kualitas air limpasan lindi sehingga masih aman untuk digunakan untuk keperluan budidaya perikanan, peternakan dan irigasi.

**Kata kunci:** constructed wetland, limpasan lindi, kualitas air, TPA Rawa Kucing, Tangerang

### ABSTRACT

Untreated leachate landfill run off contains a lot of dissolved pollutants that endanger aquatics biota life. However, an unexpensive and environmentally friendly is need to be developed. A pilot scale of Sub Surface Flow Constructed Wetland (SSFCW) that located on P2L-LIPI Cibinong, had used to treat run off leachate landfill from TPA Rawa Kucing Tangerang. This system was consisted of seven tanks that arranged in series and cascaded in order to got proper hydraulics retention time and energy saving. The observed water quality were Zn, Hg, Pb, ortho-phosphate, pH, Dissolved Oxygen (DO), Ammonia, Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP), Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Suspended Solid (TSS). Water quality measurements were measured on the outlets of tank II (sedimentation), tank III (containing rambutan's charcoal), and three tanks SSCW that filled by substrate planted with *Canna sp* (tank IV), *Hydrilla verticillata* ( tank V), *Nymphaea sp* (tank VI) and tank VII (clarifier). The objectives were to reveal the treatment efficiency progress along with flows of leachate landfill run off through SSCW system Ammonia,TN,ortho phosphate, and TP reductions respectively were as follows : 93.88 %, 85.82 %, 94.04%,dan 90.69%. On the contrary, COD, TSS, Pb, Hg, Zn only reached 50.76%, 43.12%, 11.82 %, 51.92% and 22.91% consecutively. DO and pH level tend to increased presumably caused by the occurrence of photosynthetic activities, while TSS tend to increased at the end of observation related to the degradation of decayed plants. This

*SSCW system capable to improve the leachate landfill run off that safely to utilize for fisheries culture, live stock and irrigation purposes.*

**Key words:** : constructed wetland, leachate landfill, water quality, TPA Rawa Kucing, Tangerang

## PENDAHULUAN

Air limpasan lindi merupakan salah satu penyebab polusi yang ditimbulkan dari proses perlindian pada tempat penimbunan sampah perkotaan. Timbunan sampah tersebut mengalami proses degradasi oleh mikroba kemudian dengan adanya presipitasi/air hujan terjadilah perkolasai air melewati sela-sela tumpukan material sampah yang sudah terdegradasi tersebut dan melarutkan berbagai jenis senyawaan hasil degradasi. Proses itu menyebabkan lolosnya berbagai jenis logam berat dan material organik dari material tumpukan sampah. Bila hasil perlindian ini secara langsung memasuki perairan umum maka akan membahayakan kehidupan organisme dalam perairan tersebut karena memiliki kandungan beraneka jenis konstituen organik dan berbagai macam logam berat dengan level yang tidak mendukung kehidupan biota akuatik (Manahan, 2001; Justin & Zupancic, 2009; Vymazal & Krpcelova, 2009).

Wetland di Indonesia dilaporkan paling luas se Asia yaitu ± 38.000.000 ha (<http://www.lablink.or.id>). Secara definitif wetland atau lahan basah agak sulit untuk ditentukan karena ekosistemnya unik dan sangat variatif secara alamiah baik secara biologis maupun hidrologis. Tetapi secara luas, lahan basah didefinisikan sebagai ekosistem akuatik yang secara tipikal umumnya tersusun atas tumbuhan hidrofita dan dicirikan oleh perairan dangkal yang meliputi tanah yang jenuh oleh air (Batzer & Wissinger, 1999). Adanya interaksi fungsi fisika, kimia dan biologis yang khas terjadi pada lahan basah, menghasilkan keuntungan ekologis yang tak terhingga baik untuk manusia maupun alam meliputi: keanekaragaman hayati, perlindungan terhadap bahaya badi, purifikasi perairan, produk komersial, kegiatan edukasi dan kegiatan budaya ([http://www.ramsar.org/info/values\\_biodiversity\\_e.htm](http://www.ramsar.org/info/values_biodiversity_e.htm)).

Dalam hal tumbuhan dan hewan liar, ekosistem lahan basah (didalamnya termasuk rawa, danau, situ, dan lain sejenisnya) merupakan lingkungan yang paling produktif di planet bumi. Areal ini juga memenuhi kehidupan habitat yang dibutuhkan untuk berbagai jenis burung dan mamalia, juga ikan, amfibi, avertebrata dan mikroba untuk tumbuh dan berkembangbiak (Mitsch & Gosselink, 2000).

*Constructed wetland* (CW) atau rawa buatan adalah konstruksi yang dirancang untuk menarik keuntungan hakiki dari perbaikan fungsi kualitas air pada lahan basah alami (dimana rawa adalah salah satu bagian dari lahan basah) untuk penggunaan dan kepentingan manusia. Konstruksi ini dirancang sedemikian rupa sehingga proses perbaikan kualitas air secara khusus meliputi pengendalian “*outflow*” dan meminimalkan fungsi pengolahan tertentu. Tatkala CW dirancang secara benar maka sistem ini mampu secara efektif memurnikan kembali limbah cair dengan menggunakan proses yang sama terjadi pada wetland alamiah yang terdiri atas tumbuhan, tanah dan komunitas mikrobial yang terkait, tetapi dalam lingkungan yang lebih terkontrol (Hammer, 1992).

Pemanfaatan proses fitoremediasi untuk penghilangan kontaminan dalam CW telah menjadi trend pada akhir dekade belakangan ini. Banyak tumbuhan dalam CW menunjukkan ketahanan terhadap konsentrasi kontaminan toksik yang tinggi. Fungsi utama tumbuhan dalam hal ini adalah memfasilitasi lingkungan yang cocok untuk populasi mikroba dekomposer. Tumbuhan juga menyediakan zona kaya oksigen di sekitar perakaran dan kapiler (*rhizospheres*) dan tempat perlekatan mikrobial untuk membentuk biofilm. Organisme aerobik memperkuat proses fitoremediasi melalui hubungan simbiosis yang memperbesar *metal uptake* oleh perakarannya. CW juga memfasilitasi pengendapan partikel sehingga mereduksi toksisitas polutan yang kemudian terendapkan dipermukaan sedimen. Proses reduksi-oksidasi kemudian akan memungkinkan polutan tadi di adsorpsi oleh tanah, populasi mikrobial dan tumbuhan yang terdapat dalam CW tersebut (Reddy & DeLaune, 2008).

Masalah pencemaran yang ditimbulkan dari proses perlindian di tempat pembuangan sampah akhir (TPA) di Indonesia menurut beberapa penelitian sebelumnya sudah cukup mengkhawatirkan (Diana, 1992 dan Effendi, 2000 *dalam* Puspita, 2007). Oleh sebab itu, dalam penelitian ini, kelompok peneliti CW Puslit Limnologi-LIPI di Cibinong telah mengembangkan pengolahan untuk air limpasan lindi agar menghasilkan air yang memenuhi kriteria baku mutu kualitas air kelas III dan IV menurut Peraturan Pemerintah No 82/2001. Air kelas III ini aman digunakan untuk budidaya perikanan air tawar, sedangkan air kelas IV adalah air yang masih memenuhi kriteria aman untuk irigasi pertanian. CW yang digunakan untuk proses

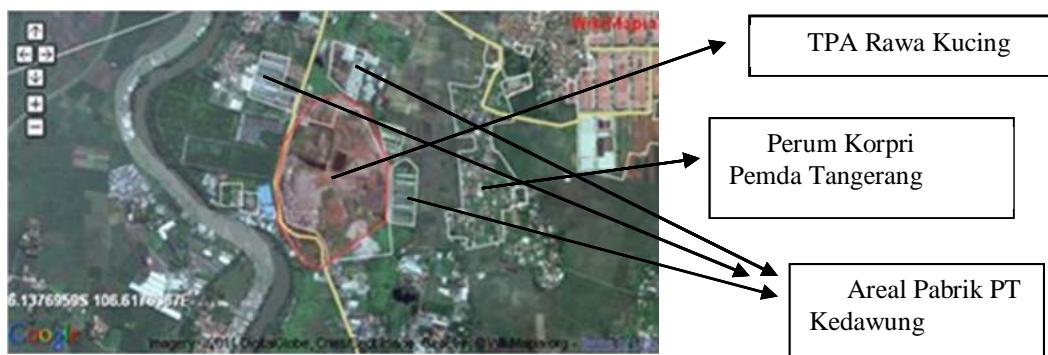
ini adalah CW dengan jenis aliran bawah permukaan (sub surface flow, SSF) sehingga selanjutnya akan disebut sebagai SSFCW.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi efisiensi SSFCW skala *pilot plant* (berlokasi Di P2L-LIPI Cibinong) dalam mengolah air limpasan lindi yang berasal dari TPA Rawa Kucing. Sebagaimana umumnya TPA di Indonesia, sistem pengelolaan TPA ini bersifat *open dumping* sehingga air lindi yang terbentuk mudah sekali melimpas (sebagai *run off*) pada saat turun hujan.

## BAHAN DAN METODE

### TPA Rawa Kucing dan SSFCW

Air limpasan lindi yang diolah dengan menggunakan SSFCW diambil dari TPA Rawa Kucing di Desa Kedawung Wetan, Kecamatan Batu Ceger, Kota Tangerang (Gambar 1). TPA ini beroperasi sejak 1995 dengan cakupan area seluas ± 10 ha dan menerima input sampah sebanyak 1330 m<sup>3</sup> yang diangkut dengan menggunakan 121 truk sampah dari beberapa pemukiman dan pasar di wilayah Kota Tangerang setiap harinya (Puspita, 2007). Sampah beraneka jenis bahan dari plastik, kertas, logam, peralatan elektronik bekas, ban bekas sampai dengan bahan organik dari pemukiman, pasar, areal industry dibakar berulangkali untuk mereduksi volumenya (Gambar 2).



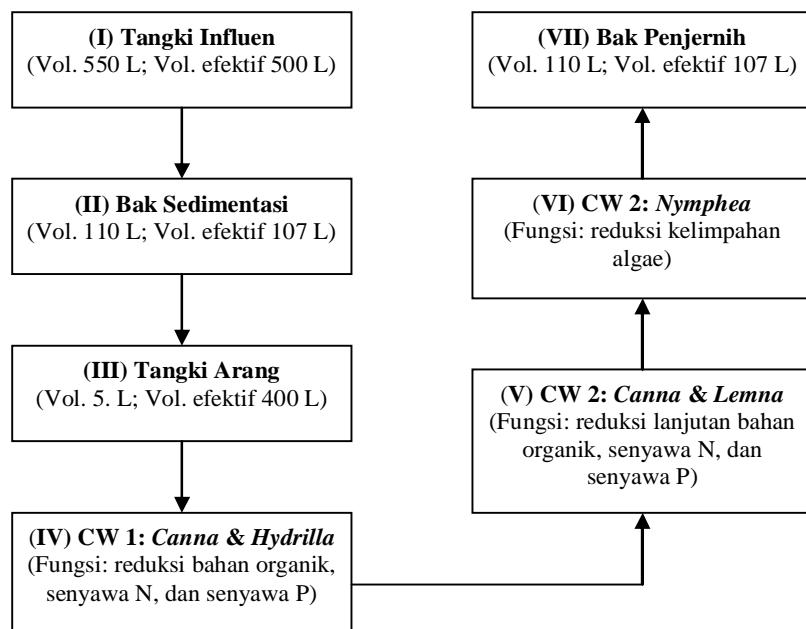
**Gambar 1.** TPA Rawa Kucing di kota Tangerang

(Sumber: <http://wikimapia.org/5661399/id>)



Gambar 2. TPA Rawa Kucing dari dekat (Sumber: Puspita, 2007)

Air limpasan lindi dari TPA ini bila hujan turun biasanya mengalir ke areal sekitarnya, dan hal ini berpotensi besar untuk mencemari air permukaan maupun air tanah. Untuk mengatasi permasalahan ini, dibuatlah SSFCW yang terdiri atas 7 buah bak/tangki yang disusun secara seri dan berundak. Tangki I difungsikan sebagai tangki influen. Tangki II difungsikan sebagai tangki sedimentasi (*sedimentation bed*). Tangki III difungsikan sebagai tangki adsorpsi dan filtrasi yang berisi arang kayu rambutan. Tangki IV, V, dan VI difungsikan sebagai *constructed wetlands bed* (sel CW) yang terdiri dari sedimen dan tanaman air. Tangki VI difungsikan sebagai bak penjernih (*clarifier bed*). Bak fiber sel CW yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan volume 3 ton. Masing-masing bak sel CW ini diisi oleh sedimen kerikil pada bagian bawahnya setinggi 15 cm, kemudian sedimen pasir pada bagian atasnya dengan tinggi 10 cm. Ketinggian air pada sel CW 1 (Tangki IV) dan CW 2 (tangki V) dijaga pada kisaran 6,5 – 8 cm; sedangkan ketinggian air pada sel CW 3 (tangki VI) dijaga pada level 30 cm. Skema rancangan percobaan beserta dimensinya disajikan pada Gambar 3. Laju aliran air lindi limpasan yang diterapkan pada penelitian ini adalah 500L/hari (atau rata-rata 6 mL/detik). Sistem aliran influen lindi limpasan ini dibuat kontinu. Dengan laju alir tersebut, waktu retensi hidraulik (*hydraulic retention time/HRT*) dari keseluruhan sistem rawa buatan diperkirakan adalah  $\pm$  4 hari 15 jam 26 menit 37 detik. Waktu retensi hidraulik tersebut dipengaruhi oleh dimensi bak/tangki dan porositas sedimen.



**Gambar 3.** Rancangan percobaan dengan SSFCW

Setiap satu periode HRT dianggap satu kali pengoperasian sistem (satu *running*). Pada percobaan ini dilakukan 6 kali *running* yaitu 2 kali run untuk *baseline* dan 4 kali run untuk proses *treatment* (percobaan), hal ini dimaksudkan agar dicapai tingkat efisiensi reduksi bahan pencemar yang cukup stabil. Percobaan ini dilakukan sebanyak 4 *run*, dua *run* pertama dengan tingkat masukan beban COD rendah (konsentrasi rata-rata 112 mg/L) dan dua *run* berikutnya dengan tingkat masukan beban COD dua kali lebih besar (konsentrasi rata-rata 265 mg/L). Penerapan tingkat beban masukan COD rendah pada awal dimaksudkan agar SSFCW dapat beraklimatisasi (beradaptasi) terhadap masukan air lindi limpasan, dan juga agar didapatkan data mengenai kemampuan SSFCW dalam mereduksi beban bahan pencemar pada tingkat masukan beban COD rendah dan tinggi.

#### Pengambilan dan Analisis Influen dan Effluen Air Lindi

Untuk keperluan analisis, air lindi influen (sebelum menerima perlakuan) dan air lindi effluen (setelah menerima perlakuan) masing-masing diambil sebanyak 500 mL dan dimasukkan ke dalam botol sampel yang telah dicuci dengan larutan asam agar bebas logam sesuai dengan prosedur yang digambarkan oleh Csuros & Csuros (2002). Pengambilan sampel dilakukan selama 6 bulan dimulai sejak April sampai

dengan September 2006. Influen dan effluen diambil pada setiap bak percobaan; karena sistem rawa buatan bersifat seri, maka effluen dari Tangki I akan menjadi influen dari tangki II, dan seterusnya. Pengambilan air sampel diambil pada hari pertama (H1) dan hari keenam (H6). Waktu pengambilan sampel tersebut disesuaikan dengan HRT sistem rawa buatan yang hampir mendekati lima hari.

Seperti yang tersaji dalam Tabel 1, parameter kualitas air utama yang dianalisis adalah Zn, Hg, Pb, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, COD, NH<sub>3</sub>-N, Total N, dan Total Phosphor (TP). Selain parameter tersebut, diambil pula beberapa parameter kualitas air pendukung (yang mempengaruhi karakteristik kualitas air utama), yaitu: pH, suhu, konduktivitas, kekeruhan, Total Suspended Solid (TSS), dan oksigen terlarut (DO). Parameter kualitas air ini dianalisis menurut metode standar yang tercantum dalam "*Standard method for the examination of water and wastewater*" (APHA, 1998).

### Analisis Efisiensi Reduksi Rawa Buatan

Analisis efisiensi reduksi rawa buatan dilakukan untuk mengetahui kemampuan rawa buatan dalam menghilangkan kandungan bahan pencemar dalam air lndi limpasan. Analisis ini dilakukan terhadap setiap bak/tangki yang digunakan pada sistem rawa buatan; dengan cara ini dapat diketahui proses reduksi bahan pencemar pada setiap tahapan perlakuan. Perhitungan efisiensi reduksi tersebut dilakukan dengan rumus (Birch *et. al*, 2004):

$$RE = 1 - \frac{Load_{effluent}}{Load_{influent}} \times 100\%$$

dimana:

$RE$  = removal efficiency atau efisiensi reduksi;

$Load_{influent}$  = Load/beban bahan pencemar tertentu pada *influent*; dan

$Load_{effluent}$  = Load/beban bahan pencemar tertentu pada *effluent*.

Selain menghitung efisiensi reduksi dari masing-masing parameter tersebut, dilakukan juga observasi terhadap nilai pH, dan DO. Tabel 1 . Metode analisis karakteristik kualitas influen dan effluen

Parameter	Satuan	Metode/Alat
<b>Parameter Utama</b>		
Pb	µg/L	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer Hitachi Z2700
Hg	µg/L	Cold vapor-Atomic Absorption Spectrophotometer Hiranuma HG-310
Zn	µg/L	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer Hitachi Z2700
COD (Chemical Oxygen Demand)	mg/L	KMnO <sub>4</sub> consumption
NH <sub>3</sub> -N (Ammonia-Nitrogen)	mg/L	Spektrofotometer/Phenate
Total-N	mg/L	Persulfate Methods - Cd reduction methods
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (Orthophosphate)	mg/L	Ascorbic acid methods
Total-P	mg/L	Persulfate method - Ascorbic acid methods
<b>Parameter Pendukung</b>		
pH	-	WQC (Horriba U-10)
Suhu	°C	WQC (Horriba U-10)
Konduktivitas	mS/cm	WQC (Horriba U-10)
Kekaruhan	NTU	WQC (Horriba U-10)
TSS (Total Suspended Solids)	mg/L	Gravimetry
DO (Dissolved Oxygen)	mg/L	DO-meter YSI

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengamatan menunjukkan nilai kemampuan penyisihan untuk setiap parameter yang diobservasi seperti terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kemampuan SSFCW dalam mereduksi kontaminan dalam air limbasan lindi

Parameter	(% Reduksi)
N-NH <sub>3</sub>	93.88
TN	85.82
o PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	94.04
TP	90.69
COD	50.76
TSS	43.12
Pb	11.82
Hg	51.92
Zn	22.91

Secara umum SSFCW ini terbukti efektif untuk menurunkan kontaminan senyawaan nitrogenik (ammonia dan TN) dan fosfor (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dan TP). Tetapi penyisihan konstituen organik (diwakili COD dan TSS) hanya mampu sampai pada tahap moderat saja. Demikian juga halnya dalam penyisihan logam toksik merkuri (Hg) yang hanya mencapai 51,92 %. Penyisihan terhadap dua logam toksik lain yang

diamati yaitu Pb dan Zn masing-masing hanya mampu sampai pada level 11,82 % dan 22,91 %.

Berikut ini adalah bahasan untuk setiap parameter yang diamati:

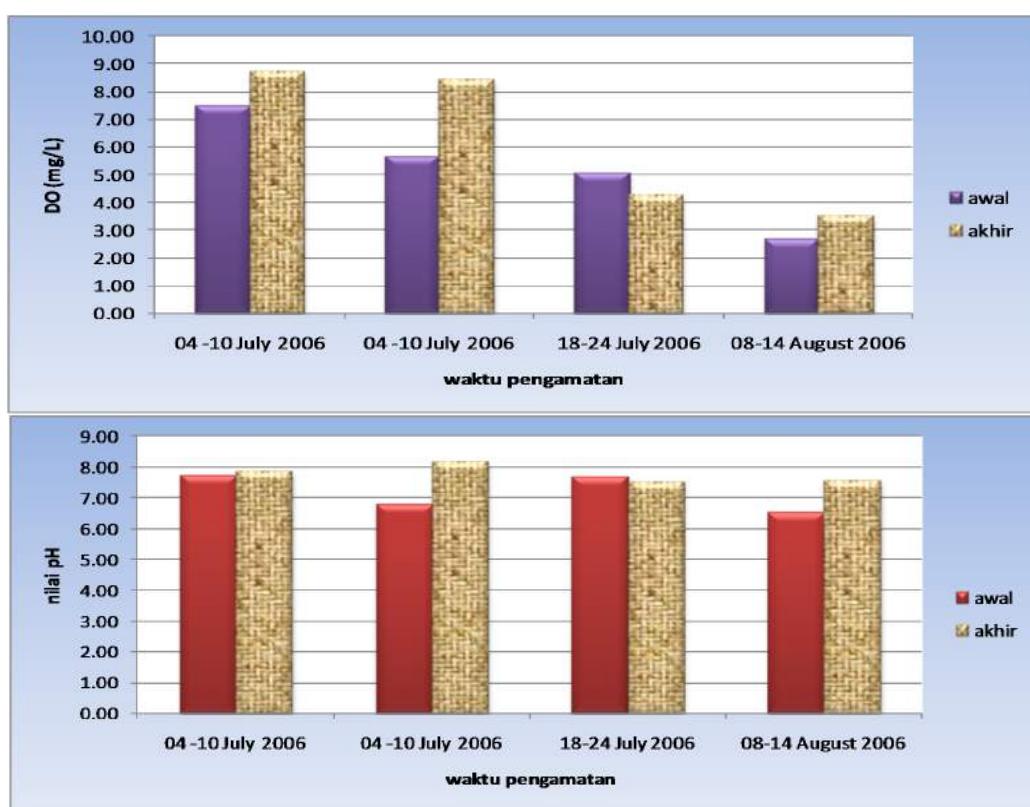
*Senyawaan nitrogenik*, penting untuk diobservasi karena secara biologis diperlukan oleh tumbuhan sebagai nutrien atau dapat beracun terhadap manusia atau kehidupan akuatik. Pergeseran kesetimbangan Amonium dan amonia sangat tergantung pada pH. Amonium adalah bentuk yang tidak berbahaya sedangkan amonia sangat mematikan untuk ikan. Toksisitas amonia meningkat seiring dengan peningkatan pH dan suhu. Pada pH>8,5 amonia menjadi bentuk yang dominan sehingga dapat mematikan ikan. Eliminasi terhadap amonia lebih besar dibandingkan dengan TN karena kondisi ini didukung dengan adanya pasokan oksigen yang cukup besar oleh sistem perakaran tumbuhan yang ada pada Tangki IV sampai VI (yang memiliki *rhizosphere*). Tampaknya amonia selain dikonsumsi untuk pertumbuhan tanaman dan alga yang tumbuh didalamnya juga mengalami oksidasi dan hal ini tentunya mengurangi kuantitas amonia di SSFCW. Total N adalah total penjumlahan senyawaan nitrogen organik dan anorganik. Kedua jenis senyawa nitrogenik ini merupakan produk dari proses dekomposisi organisme yang mati (Weiner, 2000). Amonia dan TN pada akhir proses dalam SSFCW berturut-turut adalah sebesar 0,697 mg/L dan 5.378 mg/L meskipun dalam PP N082/2001 baik untuk baku mutu air kelas III maupun kelas IV tidak ada ketentuannya (Tabel 3), tetapi bila menurut EPA dalam Weiner (2000), level amonia seperti ini risikan untuk kehidupan ikan air tawar karena amonia pada konsentrasi >0,5 mg/L menyebabkan toksisitas signifikan terhadap ikan.

*Senyawaan fosfor (P)* adalah makronutrien esensial yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman. Sangat esensial untuk semua bentuk kehidupan sebagai komponen asam nukleat dan molekul energi universal. Dalam keadaan berlebihan, P memicu kondisi eutrofik yang melibatkan pertumbuhan alga dan tumbuhan air lainnya melimpah. Pertumbuhan alga dapat mengakibatkan efek lethal terhadap kehidupan akuatik dan pada konsentrasi tinggi dapat bersifat toksik. Penyerapan cahaya matahari oleh marak alga mengurangi pasokan cahaya untuk tumbuhan yang hidup di sedimen. Bila marak alga berlangsung lama maka tumbuhan akuatik akan mati. Banyaknya alga yang membosuk akan menkonsumsi oksigen

terlarut untuk mikroorganisme *decomposer* di air terutama bila malam hari. Reduksi DO seperti ini mempengaruhi predator vertebrata yang butuh oksigen tinggi. Berkurangnya jumlah predator ini segera mengacaukan rantai makanan dan menambah jumlah spesies pengganggu, misalnya nyamuk. marak alga terkadang mengandung *strain* toksik alga biru hijau yang dapat mematikan burung, binatang domestik, makrovertebrata akuatik bahkan manusia bila dikonsumsi (Wetzel, 2001). Di perairan, P secara biologis tidak *available* bila telah terikat ke partikel. P yang mudah larut dan *available* untuk uptake disebut sebagai orto fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Efisiensi penyisihan senyawa P oleh SSFCW menunjukkan hasil yang memuaskan (Tabel 2), tampaknya hal ini terkait adanya tahap sedimentasi (Tangki II), adsorpsi (tangki III) dan *uptake* P oleh komunitas tumbuhan yang hidup dalam tangki IV sampai VI pada SSFCW. Tabel 3 menunjukkan bahwa TP pada hasil pengolahan akhir mencapai 10 dan 50 kali dibawah ambang batas aman untuk kelas III dan IV. Sedangkan  $\text{PO}_4^{3-}$  meskipun dalam PP N082/2001 baik untuk baku mutu air kelas III maupun kelas IV tidak ada ketentuanya (Tabel 3), tetapi bila menurut EPA *dalam* Weiner (2000), konsentrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  ini masih aman karena tidak mendorong terjadinya marak alga (0,05 mg/L).

*Konstituen organik*, dalam hal ini di representasikan oleh COD dan TSS. COD adalah ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi mineral yang tereduksi dan material organik. Umumnya makin besar COD makin besar pula kebutuhan oksigen di suatu perairan. Jadi, deplesi DO dibutuhkan untuk metabolisme semua organisme aerobik dalam lingkungan akuatik. Penurunan nilai COD setelah melewati SSFCW hanya pada taraf moderat. TSS meliputi semua partikel yang tersuspensi di perairan yang tidak melewati filter. *Suspended solid* yang melimpah seperti *clay* dan *silt*, partikel material organik yang halus, partikulat anorganik (misalnya besi, Fe), senyawa berwarna yang dapat larut dan fitoplankton mengakibatkan: pengurangan penetrasi cahaya di perairan mengurangi fotosintesis tumbuhan air; mengurangi kedalaman air karena terbentuknya sedimen; melimpahnya tumbuhan akuatik, habitat dan makanan; pelimpahan organisme makro dan mikro organisme, larva, telur dan penyumbatan insang ikan; penurunan efisiensi predasi oleh *visual hunter*; dan peningkatan panas yang terserap oleh air yang memperendah DO, memfasilitasi pertumbuhan parasite dan penyakit dan

peningkatan toksitas amonia (Mason, 1998). SSFCW ternyata hanya mampu menurunkan TSS secara moderat saja (Tabel 2), tampaknya hal ini disebabkan oleh adanya aktifitas dekomposisi Nymphaea yang mati dan terdeposit dalam permukaan sedimen pada Tangki VI. Dekomposisi tumbuhan air menghasilkan material organik yang berbentuk koloid yang menambah besar kandungan TSS (Weiner, 2000; Wetzel, 2001). Tabel 3 menyajikan data bahwa pada akhir proses pengolahan dengan SSFCW COD masih dalam batas toleransi untuk baku mutu air kelas IV saja. Sedangkan dalam mereduksi TSS, SSFCW terbukti menghasilkan produk akhir yang memenuhi kriteria aman untuk kedua kelas baku mutu air tersebut.



Gambar 4. Dinamika oksigen terlarut (DO) dan pH selama observasi

*DO* dan *pH*, DO adalah parameter dasar yang terpenting untuk diketahui di perairan, juga esensial untuk metabolisme semua organisme akuatik yang bersifat aerobik. DO berada di perairan karena adanya fotosintesis oleh tumbuhan dan aerasi aliran air dan dikonsumsi oleh bakteri, tumbuhan dan binatang untuk bernafas juga untuk proses pembusukan tumbuhan dan hewan serta oksidasi kimiawi di perairan. DO pada *run* 1 dan 2 bernilai dua kali lipat dibandingkan DO pada *run* 3 dan 4, hal ini setara dengan dilakukannya pembebanan COD dua kali lipat pada *run* 3 dan *run*

4 dibandingkan dengan *run* 1 dan 2. Dalam hal ini terbukti bahwa pada saat pembebanan COD dua kali lipat akan mengkonsumsi DO juga dua kali lipatnya (Gambar 4). Nilai pH sangat mempengaruhi kelarutan dan bioavailabilitas zat-zat yang berada di perairan. pH juga berpengaruh terhadap derajat ionisasi, volatilitas dan toksitas zat terlaut tertentu (misalnya amonia, hidrogen sulfida, hidrogen sianida) terhadap kehidupan akuatik. Nilai pH cenderung sedikit meningkat pada setiap akhir observasi mengindikasikan adanya efek fotosintesis dimana saat sampling yang dilakukan pada disiang hari, fotosintesis sedang berjalan pada puncaknya, laju konsumsi CO<sub>2</sub> di perairan jauh lebih besar dari laju difusi CO<sub>2</sub> dari atmosfer mengakibatkan naiknya nilai pH di perairan (Gambar 4). Dalam hal pH dan DO, produk akhir proses pengolahan limpasan lindi dengan SSFCW terbukti memenuhi prasyarat untuk aman digunakan sebagai air untuk perikanan (kelas III) dan irigasi (kelas IV).

Merkuri (*Hg*), adalah logam yang sangat toksik yang mampu untuk berbentuk sebagai gas, cair dan padat. Logam ini cenderung untuk terbioakumulasi dalam biota perairan (Csuros & Csuros, 2002). Pembakaran sampah dan pembakaran bahan bakar fosil merupakan sumber antropogenik utama logam ini di lingkungan bersamaan dengan aktifitas alamiah lain seperti geothermal dan vulkanik. Senyawa organik alkil merkuri misalnya *ethyl mercuric chloride* (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>HgCl) yang digunakan sebagai fungisida, mengakibatkan sakit bahkan kematian bila dihirup meskipun hanya beberapa miligram saja. Karena Hg anorganik dapat diubah menjadi senyawa *methyl* dan *dimethyl* Hg yang sangat toksik oleh mikroorganisme anaerobik, maka Hg dalam bentuk apapun harus dipertimbangkan keberadaannya di lingkungan sebagai zat yang berpotensial membahayakan organisme. Manusia terpapar Hg biasanya melalui konsumsi ikan. EPA dalam Wiener (2000) menyebutkan bahwa pemaparan jangka pendek pada level 0,002 mg/L dalam air minum mengakibatkan kerusakan ginjal. Tetapi belum ada bukti bahwa Hg menyebabkan kanker. Sama halnya dengan konstituen organik, SSFCW rupanya hanya mampu menghilangkan Hg hanya sampai pada level moderat. Tampaknya hal ini terkait dengan karakteristik Hg yang cenderung lebih mudah terikat pada material organik. Pada Tabel 3 terbukti bahwa dalam hal kandungan Hg, SSFCW menghasilkan produk akhir berupa air yang memenuhi kriteria aman untuk kedua kelas baku mutu air (kelas III dan IV).

Timbal (*Pb*) adalah logam yang toksik terhadap sistem saraf dan anak-anak rentan terhadap logam ini. *Pb* diserap langsung oleh usus halus dan langsung terdeposit dalam sistem saraf pusat. Tingkah laku agresif sangat terkait dengan level *Pb* di dalam darah (Csuros & Csuros, 2002). Di lingkungan, hanya 15 % saja *Pb* sebagai senyawa yang terlarut. Menurut Weiner (2000) dan Csuros & Csuros (2002), keberadaan *Pb* ada dilingkungan bukan hanya dari aktifitas pelapukan batuan tetapi dari kegiatan manusia menyumbangkan 100 kali lipat hasil pelapukan tersebut. Kegiatan pertambangan, peleburan *Pb* dan logam-logam terkait *Pb* seperti seng (*Zn*), tembaga (*Cu*), perak (*Ag*), arsen (*As*) adalah sumber utama *Pb*, sama halnya dengan pembakaran bahan bakar fosil dan sampah perkotaan. Produk komersial yang menjadi sumber utama polusi *Pb* meliputi baterai penyimpan *Pb-acid*, *electroplating*, material bangunan, keramik dan pewarna, pelindung radiasi, amunisi, cat, alat-alat gelas, solder, perpipaan, dan pembungkus kabel. Pemakaian bahan aditif pada bensin (*tetrametyllead* dan *tetraethyllead*) pada automotif meskipun sejak tahun 1980 di negara maju telah dilarang tetapi di negara berkembang masih banyak dipakai. Kandungan *Pb* di air permukaan biasanya rendah. *Pb sulfide*, sulfat, oksida, karbonat, dan hidroksida hampir tidak dapat melarut. Konsentrasi *Pb* di danau dan sungai secara global adalah 1,0-10  $\mu\text{g/L}$ . Proses sorpsi adalah faktor dominan untuk mengontrol *Pb*. Diantara parameter yang diobservasi, kemampuan SSFCW dalam menghilangkan *Pb* adalah yang paling rendah yaitu hanya 11,82 % saja. Kemungkinan besar hal ini disebabkan oleh kecenderungan *Pb* untuk lebih terikat pada material organik dan partikulat (TSS) sehingga karena SSFCW juga hanya mampu menghilangkan konstituen organik secara moderat maka proporsi *Pb* juga masih banyak terdapat pada produk akhir dari SSFCW ini. Tetapi pada Tabel 3 terbukti pula bahwa dalam hal kandungan *Pb*, SSFCW menghasilkan produk akhir berupa air yang memenuhi kriteria aman untuk kedua kelas baku mutu air (kelas III dan IV).

Seng (*Zn*), adalah logam dengan reaktifitas dan daya pereduksi paling hebat, permukaannya dengan cepat membentuk lapisan basa karbonat  $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ , dan lapisan ini melindungi permukaan logam dibawahnya dari proses oksidasi lebih lanjut. Kurang lebih 90 % *Zn* diproduksi untuk digunakan sebagai *galvanizing steel*. Industri automotif menggunakan *galvanized steel* untuk membuat *body* mobil

menjadi tahan karat. ZnO digunakan untuk berbagai jenis krim seperti *sunscreens*. ZnS banyak digunakan sebagai CRT *display* monitor komputer dan televisi. Zn juga banyak digunakan dalam baterai kering dan peralatan elektronik lainnya. Zn adalah logam esensial untuk organisme dan komponen penting pada enzim tetapi bila hadir dalam jumlah berlebihan akan menghambat penyerapan tembaga (Cu) dan mengakibatkan defisiensi Cu. Minuman bersifat asam yang disimpan dalam kaleng/wadah *galvanized* kemungkinan besar mengakibatkan konsentrasi Zn yang toksik menyebabkan pusing, muntah, kejang perut dan diare (Csuros & Csuros, 2002 Manahan, 2001; Weiner, 2000). Kaleng bekas minuman, peralatan elektronik bekas, *sparepart* otomotif bekas, banyak dijumpai di TPA sehingga kemungkinan besar akibat adanya proses perlindian meloloskan Zn ke lingkungan. SSFCW ternyata hanya mampu menghilangkan Zn pada level 22,19 % saja, dan tampaknya hal ini juga terkait dengan kecenderungan karakteristik logam ini untuk terikat pada material organik dan partikulat. Pada tabel 3 terlihat bahwa produk akhir SSFCW dalam hal kandungan Zn ternyata hanya memenuhi kriteria baku mutu untuk air irigasi, sedangkan untuk perikanan (kelas III) terlalu tinggi (hingga 6 kali dari ambang batas).

**Tabel 3.** Kriteria produk akhir hasil pengolahan dengan SSFCW

Parameter	Baku Mutu Kualitas Air (PP No 82/2001)			Produk akhir SSFCW
	Golongan III	Golongan IV		
N-NH <sub>3</sub>	tidak tersedia	tidak tersedia	0.697 mg/L	
TN	tidak tersedia	tidak tersedia	5.378 mg/L	
o PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	tidak tersedia	tidak tersedia	0.041 mg/L	
TP	1 mg/L	5 mg/L	0.1168 mg/L	
COD	50 mg/L	100 mg/L	90.32 mg/L	
TSS	400 mg/L	400 mg/L	14 mg/L	
Pb	0.03 mg/L	1 mg/L	0.014 mg/L	
Hg	0.002 mg/L	0.005 mg/L	0.001 mg/L	
Zn	0.05 mg/L	2 mg/L	0.327 mg/L	
pH	6 s/d 9	5 s/d 9	7.52 s/d 8.17	
DO	≥ 3 mg/L	≥ 0 mg/L	3.54 s/d 8.76	

## KESIMPULAN

SSFCW ini efektif sekali untuk menghilangkan nutrien berupa senyawa nitrogenik dan fosfor. Tetapi dalam hal eliminasi Hg dan konstituen organik, CW ini hanya mampu sampai pada level moderat saja, tampaknya kemampuan sistem ini dalam menurunkan Pb dan Zn dipengaruhi oleh sifat Pb dan Zn yang lebih cenderung terikat dengan material organik sehingga kedua logam ini hanya berkurang 11,82 dan 22,9 % saja. Tetapi secara umum produk akhir dari SSFCW ini masih dalam batas aman untuk mendukung kegiatan perikanan (baku mutu air kelas III) dan pengairan untuk pertanian (baku mutu air kelas IV) bila mengacu pada PP No 82/2001.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat memungkinkan terselenggara atas dukungan Program Penelitian Dan Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi - DIPA – Pusat Penelitian Limnologi LIPI khususnya Tolok Ukur Pengembangan Sistem Analisis dan Penyisihan Logam Berat pada Lingkungan Perairan Darat tahun 2006.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association-American Water Works Association-Water Environment Federation (APHA-AWWA-WEA). (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20 edition). Maryland
- Batzer, D. P., R. B. Rader and S. A. Wissinger.1999. Invertebrates in Freshwater Wetlands of North America : Ecology and Management. John Wiley & Sons, New York, New York
- Birch, G.V., C. Matthai, M.S. Fazeli, and J.Y. Suh. 2004. Efficiency of a Constructed Wetland in Removing Contaminants from Stormwater. Wetlands: Journal of the Society of Wetland Scientists 24 (2): 459 – 466
- Csuros, M and Csuros,C. 2002. Environmental sampling and analysis for metals.Lewis Publisher. A CRC Press Company. Boca Raton. 371 p.
- Justin, M.Z and Zupancic,M. 2009. Combined purification and reuse of landfill leachate by constructed wetland and irrigation of grass and willows. Desalination 247, Elsevier. 158-169
- Hammer, D.A. 1992. Creating freshwater wetlands. Lewis Publisher, London.
- Lahan Basah (wetlands). <http://www.lablink.or.id./Env/Wetland/lhbs.htm>
- Manahan, S.E. 2001. Water Pollution dalam buku Fundamentals of Environmental Chemistry. 2 th ed. CRC Press Lewis Pub. Boca Raton.Florida.1003 pp.

- Mason, C. 2002. Biology of freshwater pollution.4 th ed. Pearson Education Ltd. Edinburg-England.387p.
- Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink. 2000. Wetlands, third edition. John Wiley & Sons, New York
- Osmond, D. L., D. E. Line, J. A. Gale, R. W. Gannon, C. B. Knott, K. A. Bartenhagen,, M. H. Turner, S. W. Coffey, J. Spooner, J. Wells, J. C. Walker, L. L. Hargrove, M. A. Foster, P. D. Robillard, and D. W. Lehning. 1995. WATERSHEDSS: Water, Soil and Hydro-Environmental Decision Support System online
- Puspita L. (2007). Reduksi Senyawa Nitrogen, Fosfor, Konstituen Organik dan TSS pada Air Lindi Limpasan dengan Rawa Buatan. Tesis S2, Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Reddy, K.R and DeLaune R.D. 2008. Biogeochemistry of wetlands: Science and applications. CRC Press. Taylor and Francis Group. 774 pages.
- TPA. Rawa Kucing Pemkot Tangerang. <http://wikimapia.org/5661399/id/>
- Vymazal, J ; Kropfelova,L. 2009. Removal of organics in horizontal sub-surface flow: a review of the field experience. Science of the total Env. 407. 3911-3922.
- Weiner, E.R. 2008. Applications of Environmental aquatic Chemistry. A practical guide. Second edition. CRC Press. Taylor and Francis Group.
- Wetlands – hotspots of biodiversity. <http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-home/main/ramsar>
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology. 3 th Ed. W.B. Sounders College Company Publishing. Philadelphia. London. 743 p.