

KEMAMPUAN LAHAN BASAH TROPIS BUATAN JENIS ALIRAN VERTIKAL BAWAH PERMUKAAN DALAM MENGOLAH LIMBAH INDUSTRI TEPUNG TAPIOKA

Ami A. Meutia* & Awalina*

ABSTRAK

*Industri tapioka telah cukup berkembang di Indonesia, namun banyak yang tidak memiliki pengolahan limbah yang layak, yang mana dapat menimbulkan pencemaran bau dan hidrogen sianida yang beracun. Telah dilakukan penelitian penggunaan lahan basah buatan dengan model aliran bawah permukaan (SSFCW; Sub Surface Flow Constructed Wetland) untuk pengolahan limbah industri tapioka. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi efisiensi SSFCW terhadap penyisihan penyusun limbah industri tapioka (COD, BOD, SS, TOM dan kekeruhan). SSFCW terdiri dari enam tanki masing-masing dilapisi pasir dan krikil. Pada tanki II dan III digunakan tumbuhan air *Canna sp.*, sedangkan pada tanki IV ditanami *Nymphaea stellata*, *Hydrilla sp.*, dan *Lemna sp.* Pengukuran parameter dilakukan dalam periode mingguan dari tanggal 17 Juli hingga 14 Agustus 2003. Analisis lanjut yang dilakukan adalah metode piktorial (Trend line analysis) dan matriks korelasi. Tingkat reduksi penyusun limbah berturut-turut SS, turbiditas, BOD₅, COD dan TOM, masing-masing 96,7%, 87,9%, 84,6%, 73,0% dan 52,5%. Peningkatan terjadi pada pH (6,4 menjadi 7,4), DO (3,8 mg.l⁻¹ menjadi 6,0 mg.l⁻¹), dan konduktivitas (0,68 mS.cm⁻¹ menjadi 1,38 mS.cm⁻¹). Analisis piktorial menunjukkan hubungan prosentasi penghilangan paramater-paramater terhadap HRT (Hydraulic Retention Time) sangat kuat pada hubungan polinomial orde dua, yaitu terhadap BOD₅ ($r^2 = 1,00$), COD ($r^2 = 1,00$) dan cukup pada SS ($r^2 = 0,63$).*

Kata kunci : lahan basah buatan, aliran bawah permukaan, limbah tapioka.

ABSTRACT

CAPACITY OF SUB SURFACE FLOW TROPICAL CONSTRUCTED WETLAND ON TREATING OF TAPIOCA INDUSTRY WASTE. *Tapioca industries has developed enough in Indonesia, but much of them have waste water treatment improperly, so water pollution will arise, such as odor and poisonous hydrogen cyanide gas formations. Has been conducted a research to use of sub surface flow tropical constructed wetland (SSFCW) for treating of tapioca industry waste. The objection of research is to evaluate removal efficiency of tapioca industry constituents (COD, BOD, SS, TOM and Turbidity) by SSFCE. SSFCW consisted by six tanks with each tank based by sand and gravel. On second and third tank equipped by aquatic plant *Canna sp.*, while on fourth by *Nymphaea stelata*, *Hydrilla sp.*, and *Lemna sp.* Parameters measurement was conducted on weekly (17 July – 14 August 2003), and further analysis by using pictorial (Trend line analysis) and Matrix correlation. Reduction of tapioca industry waste constituents, namely SS, turbidity, BOD₅, COD and TOM were 96.7%, 87.9%, 84.6%, 73.0%, and 52.5%, respectively. The enhancement was occurred on pH (6.4 to 7.4), DO (3.8 to 6.0 mg.l⁻¹), and conductivity (0.68 to 1.38 ms.cm⁻¹). Pictorial analysis show that relationship of parameters elimination percentage to HRT (Hydraulic Retention Time) was very high in polynomial equation order two, those BOD₅ ($r^2 = 1.00$), COD ($r^2 = 1.00$) and moderate relationship was SS ($r^2 = 0.63$).*

Key words : constructed wetland, sub surface flow, tapioca waste water

* Staf Peneliti Puslit Limnologi-LIPI E-mail: ami@water.env.kyoto-u.ac.jp
atau mizuno@idola.net.id

PENDAHULUAN

Limbah industri maupun limbah domestik seringkali menimbulkan masalah pencemaran di Indonesia (Meutia, 2002). Keseimbangan struktur dan fungsi ekologis yang dimiliki badan air (misalnya sungai atau danau) akan hancur jika pembuangan limbah dilakukan secara langsung ke dalamnya. Hal seperti ini tentunya juga akan membahayakan kesehatan manusia. Kendala yang biasa dikemukakan pihak industri adalah soal mahalnya biaya konstruksi maupun pemeliharaan sebuah sistem pengolahan limbah (Meutia, 2003). Ini adalah bukti bahwa sistem pengolahan limbah yang telah diterapkan di negara maju tidak cocok diterapkan di negara berkembang seperti Indonesia.

Lahan basah buatan adalah sebuah sistem alternative pengolahan limbah, dengan biaya operasional dan pembuatan yang murah karena hanya mengandalkan sumber energi yang alamiah, serta biaya operasi dan pemeliharannya terbilang mudah (Martin & Johnson, 1995). Ini cocok untuk negara sedang berkembang yang memiliki relative cukup banyak lahan dan tenaga kerja yang melimpah, tapi kekurangan modal. Lahan basah buatan menggunakan mikroorganisme dan tanaman untuk menciptakan keanekaragaman hayati dan keseimbangan estetis. Sistem ini mampu untuk memperbaiki kualitas perairan dengan cara yang sangat akrab dengan lingkungan dan berkesinambungan (Meutia, 2000). Lahan basah buatan memiliki prospek yang sangat menjanjikan dalam mengatasi masalah di negara sedang berkembang.

Kendala ilmiah yang dijumpai terutama untuk wilayah tropis adalah bahwa pengetahuan tentang lahan basah buatan hanya berkembang pesat di wilayah subtropis seperti Eropa, Jepang, Amerika dan Australia sebaliknya di wilayah tropis termasuk Indonesia penelitian tentang hal ini sangatlah jarang dijumpai.

Ada dua jenis lahan basah yang dikenal yaitu aliran horizontal permukaan (*surface flow*) dan aliran bawah permukaan (*vertical subsurface flow*) (Crites, 1994). Jenis pertama sangat terkenal di Amerika serikat sedangkan jenis kedua dikenal luas di Uni Eropa, Australia, dan Afrika selatan (Wood, 1995).

Terkait dengan pengembangan industri tapioka, adalah masalah lingkungan yang sangat mengganggu akibat adanya pengolahan limbah yang buruk antara lain berupa bau yang sangat tidak enak dan terbentuknya gas hydrogen sianida yang beracun bagi organisme (Anonim, 2000). Padahal industri ini cukup banyak dijumpai dan biasanya berada di lokasi yang padat penduduk. Industri tapioka berperan cukup penting di Indonesia karena merupakan industri pendukung untuk industri lain seperti industri makanan, industri textile, farmasi, dan lain-lain. Limbah yang dihasilkan secara kimiawi sangat banyak mengandung konstituen organik dan merupakan substrat yang cocok untuk kehidupan mikroorganisme dekomposer. Salah satu hasil dari aktifitas bakterial tersebut adalah terbentuknya senyawa penimbul bau tadi.

Ada tiga hal yang menjadi tujuan untuk dilakukannya penelitian ini yaitu i) untuk mengevaluasi efisiensi sistem lahan basah buatan jenis aliran bawah permukaan (CWSSF) dalam menyisihkan konstituen limbah dalam buangan industri tepung tapioka, dengan parameter yang menjadi perhatian adalah COD, BOD₅, SS, TOM, pH, Turbiditas, Suhu perairan dan kandungan Oksigen terlarut (DO); ii) mengetahui pola hubungan antara *Hydraulic Retention Time* (HRT) terhadap % eliminasi maupun peningkatan kuantitas beberapa dari parameter tersebut di atas; dan iii) Mengungkapkan kuat lemahnya hubungan antar parameter tersebut diatas selama proses berlangsungnya penelitian ini.

METODA PENELITIAN

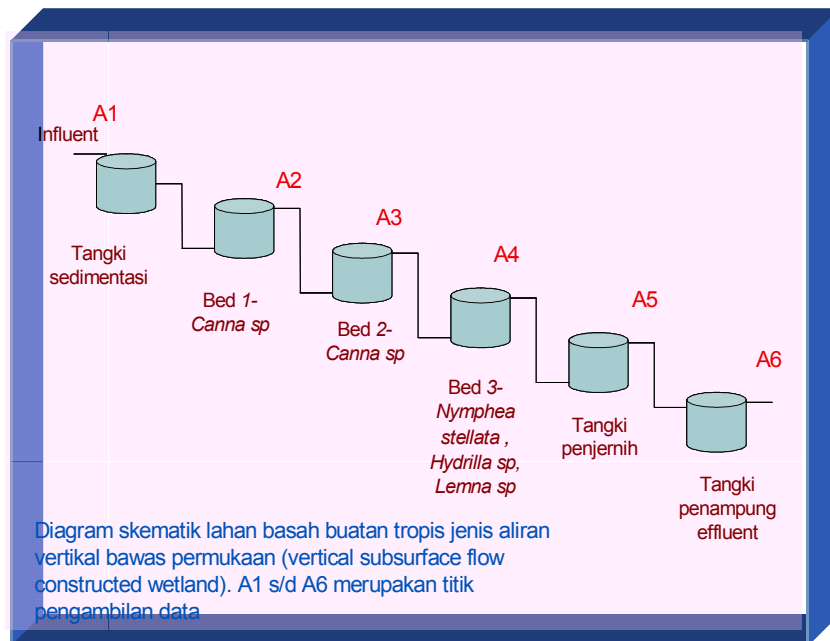
Rancangan Sistem

Sistem lahan basah jenis aliran bawah permukaan horizontal (CWSSF; *Constructed wetland-vertical sub surface flow*) dalam skala kecil telah dibuat di Pusat Penelitian Limnologi-LIPI, Cibinong. Sistem ini terdiri atas enam tangki yang masing-masing telah diberi substrat dasar kerikil dan pasir, dimana tangki ke II dan ke III ditanami *Canna sp*, sedangkan tangki ke IV ditanami *Nymphaea stellata*, *Hydrilla sp*. dan *Lemna sp*. Tangki I merupakan tangki sedimentasi berfungsi untuk mengendapkan padatan. Tangki ke II, III, dan ke IV berfungsi untuk mereduksi parameter yang diuji. Selanjutnya tangki ke V adalah untuk reduksi lebih lanjut untuk konstituen berkadar lebih rendah, sedangkan tangki ke VI merupakan tangki penjernih (Gambar 1). Tangki yang berisi tanaman masing-masing seluas 3 m² berisi substrat tanah dan air sedemikian rupa sehingga selalu berkondisi sangat lembab. Influen berasal dari sebuah reservoir yang menampung air buangan cucian peralatan gelas laboratorium yang berlangsung dari pukul 08.00-16.00 (Senin –

Jum'at) dan ditambahi dengan limbah pabrik pengolahan tapioka yang dituangkan seminggu sekali sebanyak lima liter. Aliran air dalam sistem ini berlangsung hanya mengandalkan pada gaya gravitasi.

Pengambilan Contoh dan Analisis Laboratorium

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan secara *in situ dan ek situ*. Secara *in situ* yaitu menggunakan instrument WQC (*Water Quality Checker*) Horriba U-10 untuk pengukuran pH, oksigen terlarut (DO; *Dissolved Oxygen*), konduktifitas, turbiditas dan suhu) dengan tiga kali pengulangan. Pengukuran *ex situ* atau analisis laboratorium yaitu untuk BOD₅ (*Biological Oxygen Demand, 5 hari*) COD (*Chemical Oxygen Demand*), TOM (*Total Organic Matter*), dan SS (*Suspended Solid; padatan tersuspensi*) berdasarkan APHA (1995) dengan dua kali pengulangan. Pengamatan dilakukan secara mingguan dimulai pada 17 Juli 2003 sampai 14 Agustus 2003. Secara *in situ* dilakukan pula pengukuran kecepatan aliran.



Gambar 1. Diagram skematik lahan basah buatan tropis jenis aliran horizontal permukaan (vertical subsurface flow constructed wetland). A1 s/d A6 merupakan titik pengambilan data

Analisis data

Seluruh data hasil yang diperoleh kemudian diolah lebih lanjut dengan software MS-Excell baik yaitu untuk analisis pictorial (*trend line analysis*) dan matriks korelasi pada limit konfidensi 95 %. Analisa pictorial digunakan untuk mengetahui pola hubungan antar HRT terhadap % efisiensi penyisihan BOD₅, COD, TOM, SS dan turbiditas. Sementara matriks korelasi digunakan untuk mengetahui kuat tidaknya hubungan antar parameter yang diuji pada limit konfidensi 95 %. Pada penelitian ini diperoleh α sebesar 0.367. Dengan demikian pada Tabel 3 hanya akan diperlihatkan hubungan yang signifikan pada limit konfidensi 95 %.

organik ini adalah kuantitas COD dan BOD₅.

Kemampuan lahan basah buatan jenis aliran bawah permukaan (CWSSF) dalam menyisihkan konstituen limbah disajikan dalam Tabel 1. Padatan tersuspensi (SS) merupakan konstituen yang paling banyak disisihkan yaitu mencapai 96,67 %, diikuti oleh turbiditas (87,89%). Hal ini mudah dimengerti karena SS merupakan salah satu komponen dalam perairan yang menjadi penyebab terjadinya turbiditas dalam perairan selain komponen koloid (Wetzel, 2001). Rata-rata kuantitas SS menunjukkan penurunan drastis tampak dalam tangki I (sedimentasi) dan menurun lagi pada tangki II yang berisi *Canna sp.*,

Tabel 1. Efek purifikasi dari keseluruhan sistem lahan basah buatan jenis SSF

Parameter	Kuantitas rata-rata		% penyisihan
	Inflow	outflow	
pH	6,43	7,39	
DO (mg/L)	3,81	6,01	
Turb (NTU)	112,38	13,61	87,88930415
Kond.(mS/cm)	0,68	1,38	
Suhu (OC)	30,6	29,82	
COD (mg/L)	223,6186667	60,421	72,98034153
BOD ₅ (mg/L)	11,213	1,73	84,57147953
TOM (mg/L)	1251,1	594,53	52,47941811
SS (mg/L)	153,44	5,11	96,66970803

HASIL DAN PEMBAHASAN Efisiensi Penyisihan

Limbah industri tepung tapioka mengandung bahan organik dan nutrient yang sangat tinggi. dan hal ini merupakan medium yang cocok bagi pertumbuhan mikroba dekomposer. Aktifitas dekomposer ini dalam mendekomposisi senyawa karbohidrat. protein dan sedikit asam-asam lemak yang ada dalam perairan akan menghasilkan berbagai gas berbau menyengat seperti H₂S dan NH₃ (Wetzel, 2001). Oleh karena itu konstituen organik yang terkandung dalam limbah ini perlu untuk dieliminasi. Salah satu indicator penting tentang keberadaan konstituen

tetapi dalam tangki ke III dan ke IV terjadi peningkatan. hal ini tampaknya disebabkan adanya aktivitas fisik dalam proses perbaikan. Pola yang sama juga teramati pada turbiditas (Tabel 2).

Sementara itu konstituen organik menunjukkan nilai efisiensi yang cukup besar yaitu COD (72,98%). Sedangkan nilai efisiensi penyisihan BOD₅ dan TOM masing-masing mencapai 84,57 % dan 52,48 %. Kuantitas rata-rata konstituen organik dalam menunjukkan pola kecenderungan yang hampir sama yaitu penurunan yang drastis setelah melewati tangki sedimentasi (I) tapi bervariasi naik dan turun setelah melewati tangki II. III. dan

IV. Meskipun begitu kenaikan ini tetap mencapai nilai yang jauh lebih rendah dibandingkan konsentrasi awal yang dijumpai pada limbah. Tampaknya variasi ini disebabkan oleh pengaruh aktifitas bakterial yang hidup dalam substrat dan bahkan melekat dalam sistem perakaran tanaman. Walaupun begitu secara keseluruhan terlihat bahwa aplikasi sistem CWSSF sangat potensial dalam menysihikan konstituen organik dalam limbah industri tepung tapioka ini.

Peningkatan Kuantitas Parameter

Setelah melewati seluruh komponen sistem ternyata level kuantitas pH meningkat dari 6,43 menjadi 7,39 atau makin mendekati nilai pH netral. Sedangkan kuantitas DO juga meningkat dari hanya 3,81 mg.l⁻¹ menjadi 6,01 mg.l⁻¹ (Tabel 1).

Lemna sp.) yang menunjukkan peningkatan nilai pH dan DO. Nilai DO yang tampak sedikit menurun dalam tangki IV dibandingkan terhadap tangki V kemungkinan disebabkan oleh aktifitas mikroba yang mengkonsumsi oksigen.

Hasil Analisis Pictorial

Efisiensi penyisihan BOD₅ dan COD ternyata berhubungan sangat erat dalam persamaan polynomial orde 2 terhadap HRT dimana masing-masing memiliki R² =1,000. Sementara SS dan turbiditas masing-masing berhubungan sangat erat dengan HRT dalam persamaan polynomial orde 2 dan logaritmik dengan nilai berturut-turut R² =0,634, dan R² =0,739. Sementara itu TOM memiliki hubungan logaritmik yang lemah terhadap HRT dengan R² =0,117 (Gambar 2).

Tabel 2. Kuantitas rata-rata parameter dalam setiap sel lahan basah buatan

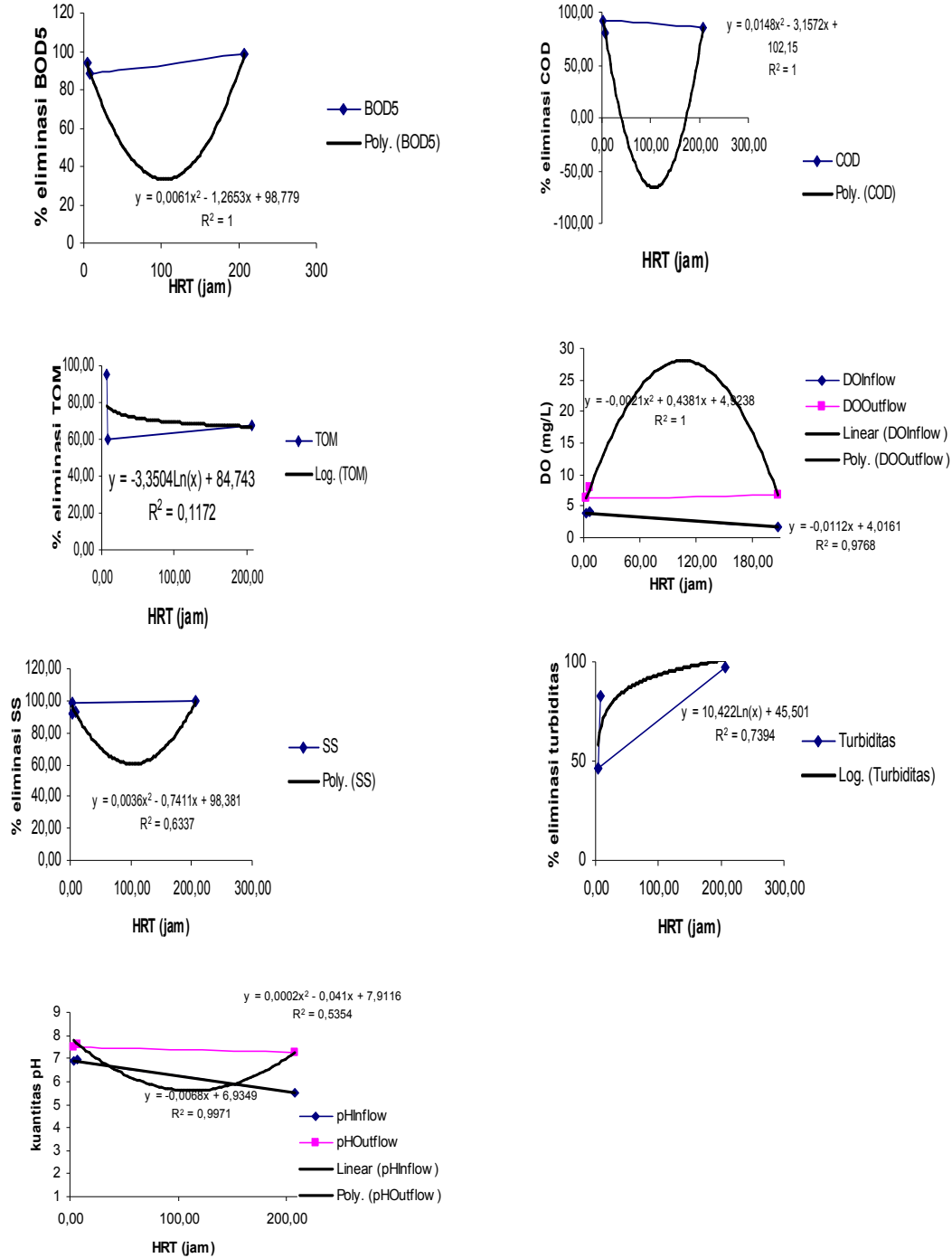
CW-SSF						
Limbah	B1	B2	B3	B4	B5	B6
6,43	7,01	7,17	7,13	7,11	7,44	7,39
3,81	3,54	2,55	7,65	6,6	9,43	6,01
112,38	18,06	4,667	73,08	123,06	14,83	13,61
30,6	31,57	29,5	28,78	28,73	28,98	29,82
223,6186667	78,997	48,175	187,6802	97,246	90,867	60,421
11,213	2,483	1,158	3,691	4,702	3,701	1,73
1251,1	826,51	322,55	992,152	650,227	584,24	594,53
153,44	9,333	2,83	449,83	188,11	6,833	5,11
0,68	1,96	0,755	2,075	0,99	1,46	1,38

Hasil ini mencerminkan bahwa kinerja tanaman yang berada dalam sistem berpengaruh cukup efektif. Hal ini karena dari hasil aktifitas fotosintesis yang cukup tinggi akan mampu menggeser keseimbangan ion-ion karbonat dalam perairan yang akan menyebabkan terjadi pergeseran nilai pH kearah yang cenderung bersifat basa (pH >7). Demikian pula halnya dengan DO, karena aktifitas fotosintesis akan menghasilkan gas oksigen. Dalam CWSSF, tampak bahwa mulai pada tangki II, III dan IV (yang berisi tanaman *Canna* sp., *Nymphaea stellata*, *Hydrilla* sp., dan

Terjadi perbedaan hub HRT terhadap DO dalam outflow dan inflow, yaitu pada bagian outflow merupakan hubungan polynomial orde 2 yang sangat erat (R²= 1,000) sedangkan bagian inflow memiliki hubungan linear yang kuat dengan R² =0,977. Pola yang sama dijumpai pada pH outflow yaitu memiliki hubungan cukup erat terhadap HRT (R² = 0,535) pada persamaan polynomial orde 2. Sedangkan pH inflow berhubungan erat dengan HRT pada persamaan linear (R² =0,997). Dari hasil analisis pictorial ini terungkap bahwa HRT merupakan salah satu factor kunci

dalam menentukan kemampuan sistem lahan basah untuk menyisihkan konstituen limbah organik yang diteliti. Hubungan yang kompleks seperti polynomial dan

logaritmik mencerminkan bahwa sebetulnya masih ada faktor-faktor kimia fisika biologi yang lain yang berperan dan perlu untuk diamati.



Gambar 2. Grafik hubungan antara Hydraulic retention time terhadap parameter yang diuji

Hasil Analisis Matriks Korelasi

Kandungan TOM dalam sistem selama penelitian ini berlangsung ternyata berkorelasi cukup erat terhadap BOD₅ ($r_{\text{korelasi}} = 0,467$), COD ($r_{\text{korelasi}} = 0,402$), dan SS ($r_{\text{korelasi}} = 0,393$). Sementara Turbiditas sangat erat berhubungan dengan SS ($r_{\text{korelasi}} = 0,905$) tetapi kurang begitu erat berkorelasi terhadap TOM ($r_{\text{korelasi}} = 0,383$). Hasil pengukuran DO ($r_{\text{korelasi}} = 0,551$) selama masa pengamatan ternyata tergantung dengan karakteristik tangki (Tabel 3). Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan kondisi tangki dimana ada tangki yang berisi tanaman (II.II. dan IV) serta tangki yang tidak berisi tanaman sama sekali dan hanya berisi ruangan (chamber) yaitu pada tangki I dan V. Sebagaimana diketahui, bahwa aktifitas tanaman yang berfotosintesis akan menyebabkan pula terjadinya perubahan DO (Wetzel, 2001).

KESIMPULAN

Penerapan sistem CWSSF skala kecil ini. Ternyata mampu untuk mengolah limbah tepung tapioka secara efektif. HRT sangat berpengaruh besar terhadap efisiensi penyisihan konstituen organik. Masih banyak diperlukan lagi studi tentang faktor-faktor kimia fisika biologis yang menjadi kunci pengendali proses yang terjadi dalam sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pembuatan dan pengoperasian CWSSF skala kecil ini didanai oleh anggaran yang diperoleh dari pemerintah. Penulis menyampaikan rasa terima kasih pada Endang Mulyana atas bantuan teknis dan Uci dalam pekerjaan analisis di laboratorium.

Tabel 3. Matriks korelasi hubungan antar parameter. hanya hubungan yang signifikan pada limit konfidensi 95% saja yang diperlihatkan

	<i>HRT</i>										
	<i>CW-SSF</i>	<i>(hours)</i>	<i>COD</i>	<i>BOD₅</i>	<i>SS</i>	<i>TOM</i>	<i>pH</i>	<i>Turb</i>	<i>DO</i>	<i>W temp</i>	<i>Beds</i>
HRT (hours)											
COD											
BOD5											
SS											
TOM			0.402	0.467	0.393						
pH											
Turb					0.905	0.383					
DO											
W temp											
Beds									0.551		

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., Tepung Tapioka. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, www.warintek.net/tepung_tapioka.htm, 2000.
- Meutia. A.A., Treatment of Laboratory Waste Water in Subsurface and Surface Flows of Tropical Constructed Wetland. 7th International Conferences on Wetland Sistesms for Water Pollution Control, Vol. III, University of Florida-International Water Association, November 11-16.2000 1600pp. 2000.
- Meutia. A.A., Pengolahan Air Limbah Dengan Lahan Basah Buatan, Prosiding Seminar Nasional Limnologi-LIPI, Bogor, 2002.
- Crites R. W., Design Criteria and Practice for Constructed Wetlands, *Wat. Sci. Tech*, 29 (4), 1-6, 1994.
- Martin C.D. And Johnson K.D., The Use of Extended Aeration and In-Series Surface Flow Wetland for Landfill Leachate Treatment, *Wat. Sci. Tech*, 32(3), 119-128, 1995.
- Wood A., Constructed Wetlands in Pollution Control: Fundamentals to Their Understanding, *Wat. Sci. Tech*, 32(3), 21-29, 1995.
- Standard Methods For The Examination Of Water And Waste Water., 19th eds, APHA-AWWA-WEF, Washington DC, USA, 1995.
- Wetzel. R.G., *Limnology*, 3th Ed, W.B. Saunders College Company Publishing, Philadelphia. London, 743 p, 2001.