

KEMAMPUAN RAWA ALIRAN BAWAH PERMUKAAN DALAM MENGOLAH LIMBAH INDUSTRI TEPUNG TAPIOKA

Ami A. Meutia* & Awalina*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi penyisihan penyusun organik dalam limbah industri tepung tapioka yaitu kebutuhan oksigen kimiawi (COD; Chemical Oxygen Demand), padatan tersuspensi (SS; Suspended Solid), bahan organik total (TOM; Total Organic Matter), kekeruhan turbiditas, suhu perairan dan Oksigen terlarut (DO)) menggunakan sistem rawa tropis jenis aliran bawah permukaan (CWSSF) yang terdiri atas enam tangki, dilaksanakan dengan pengambilan data secara mingguan selama empat minggu (17 Juli-14 Agustus 2003). Jenis tanaman yang digunakan pada tangki ke satu dan ke tiga adalah *Canna* sp, sedangkan tangki ke empat ditanami *Nymphaea stellata*, *Hydrilla* sp, dan *Lemna* sp. Hasil reduksi terbesar yaitu SS (96,67 %), disusul berturut turut turbiditas (87,9 %), COD (72,98 %), dan TOM (52,48 %). Peningkatan terjadi pada nilai pH, DO dan konduktifitas, berturut-turut dari 6,43 menjadi 7,39, 3,81 menjadi 6,01 mg DO/L, dan 0,68 menjadi 1,38 mS/cm. Analisis matriks korelasi pada limit konfidensi 95 % menunjukkan bahwa SS sangat terkait erat dengan turbiditas ($R_{\text{korelasi}} = 0,905$). Persamaan polinomial orde 3 ditunjukkan dalam hubungan % eliminasi terhadap laju alir pada semua parameter, dengan $R^2 = 1,000$ teramati pada SS dan turbiditas. Keseluruhan gambaran ini menunjukkan bahwa sistem rawa aliran bawah permukaan sangat efektif untuk mengeliminasi penyusun organik dalam limbah tapioka.

Kata kunci : rawa buatan, tropis, aliran bawah permukaan, pengolahan limbah, tepung tapioka.

ABSTRACT

The investigation aims to evaluate the organic constituents removal efficiency in the waste of tapioca powder industry (Chemical Oxygen Demand, Suspended Solid, Total Organic Matter, Turbidity, water temperature and Dissolved Oxygen). Sub Surface Constructed Wetland consisted of six tanks was applied to treat the waste and the performance was monitored weekly for 28 days (17 July-14 August 2003). The plants used in the second and third tanks were *Canna* sp, while in the fourth tank was *Nymphaea stellata*, *Hydrilla* sp, and *Lemna* sp. The highest reduction was observed on the parameter of SS (96.67 %), followed by turbidity (87.9 %), COD (72.98 %), and TOM (52.48 %). Improvement were observed in the value of pH, DO and conductivity, which were 6.43 to 7.39, 3.81 to 6.01 mg DO/L, and 0.68 to 1.38 mS/cm, respectively. The correlation matrix analysis in confidential limits of 95 % shows that SS has the strongest correlation with the turbidity ($R_{\text{correlation}} = 0.905$). The polynomial order 3 was shown in the relationships of % elimination to the flow rate of all of the parameter, in which $R^2 = 1.000$ observed in SS and Turbidity. The overall results indicates that the constructed wetland is capable efficiently to eliminate organic constituents from the tapioca powder industry waste water.

Key words : constructed wetland, tropical, sub surface flow, tapioca powder, waste water treatment.

* Staf Peneliti Puslit Limnologi-LIPI

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 ini juga membahayakan kesehatan manusia. Kendala yang biasa dikemukakan pihak industri adalah soal mahalannya biaya konstruksi maupun pemeliharaan sebuah sistem pengolahan limbah (Meutia, 2002). Ini adalah bukti bahwa sistem pengolahan limbah yang telah diterapkan di negara maju tidak cocok di terapkan di negara berkembang seperti Indonesia.

Rawa buatan adalah sebuah sistem alternatif. Biaya operasional dan pembuatannya murah karena hanya mengandalkan sumber energi yang alamiah. Pola operasional dan pemeliharaannya terbilang mudah (Martin & Johnson, 1995). Sistem pengolahan ini cocok untuk negara sedang berkembang yang memiliki relatif cukup banyak lahan dan tenaga kerja, tapi kekurangan modal. Sistem ini mampu untuk memperbaiki kualitas perairan dengan cara yang sangat akrab dengan lingkungan dan berkesinambungan (Meutia, 2000). Rawa 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 rawa buatan hanya berkembang pesat di Uni Eropa, Jepang, Amerika dan Australia, sedangkan di wilayah tropis termasuk Indonesia penelitian tentang hal ini sangat jarang dijumpai. Ada dua jenis rawa yang dikenal yaitu aliran horizontal permukaan (*surface flow*) dan aliran bawah permukaan (*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).

Masalah lingkungan yang sangat mengganggu adalah karena pengolahan limbah industri tepung tapioka yang buruk, sehingga 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 tekstil, farmasi, dan lain-lain. Limbah yang dihasilkan secara kimiawi sangat banyak mengandung penyusun organik dan merupakan substrat yang cocok untuk kehidupan mikroorganisme decomposer. Salah satu hasil dari aktivitas bakterial tersebut adalah terbentuknya senyawa yang menimbulkan bau tadi.

Ada tiga tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini, yaitu 1) untuk mengevaluasi efisiensi system rawa buatan jenis aliran bawah permukaan (*Constructed Wetland Sub Surface Flow*, CWSSF) dalam menyisihkan penyusun limbah dalam buangan industri tepung tapioka 3 dan 2) mengetahui pola hubungan antara laju aliran limbah dalam sistem terhadap % eliminasi maupun peningkatan kuantitas beberapa dari parameter tersebut di atas. Alasan spesifik dgunakannya CWSSF adalah karena pada sistem ini memungkinkan kontak yang lebih intensif antara limbah cair dengan medium substrat yang mana proses dekomposisi pencemar sebagian besar terjadi di daerah perakaran tumbuhan dan partikel sedimen.

Mengingat karakter dan kemampuan yang bervariasi pada tanaman, maka jenis tanaman yang digunakan dalam rawa buatan biasanya disesuaikan dengan jenis limbah yang akan diolah. Di negara maju tanaman yang digunakan dalam rawa buatan digolongkan sebagai jenis mencuat (*emergent*), tenggelam (*submerged*), dan terapung (*floating*). (Guntenspergen *et al.*

dalam Hammer, 1989). Contoh tanaman jenis mencuat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Canna sp*, sedangkan tanaman *Hydrilla sp*. adalah jenis tanaman tenggelam, serta *Lemna sp* adalah dari jenis tanaman terapung.

BAHAN DAN METODA

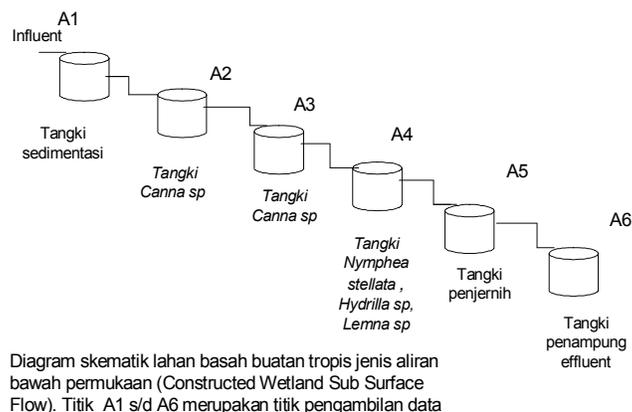
Rancangan Sistem

Sistem rawa jenis aliran bawah permukaan (*Constructed Wetland- Sub Surface Flow, CWSSF*) dalam skala kecil telah dibuat di P₂L-LIPI (Gambar 1), Cibinong. Sistem ini terdiri atas 6 tangki (A1 sampai A6) yang mana tangki A2 sampai A4 sebagai tangki yang ditumbuhi tanaman, masing-masing telah didasari oleh substrat berupa campuran sedimen, kerikil dan pasir. Ketinggian substrat berturut turut adalah 45 cm, 30 cm, dan 25 cm. Sedangkan ketinggian lapisan air berturut-turut 5 cm, 23 cm, dan 31 cm. Tangki A1 merupakan tangki sedimentasi berfungsi untuk mengendapkan padatan. Tangki A2, A3, dan A4 berfungsi untuk mereduksi bahan pencemar yang terkandung dalam cairan limbah tapioka. Selanjutnya tangki A5 adalah untuk reduksi lebih lanjut bahan pencemar berkadar lebih rendah. Sedangkan tangki ke A6 merupakan tangki

penjernih.

Tangki yang berisi tanaman masing-masing seluas 3 m² berisi substrat tanah dan air, sedemikian rupa sehingga selalu berkondisi sangat lembab, yang mana tangki A2 dan A3 ditanami *Canna sp*, sedangkan tangki A4 ditanami *Nymphaea stellata*, *Hydrilla sp*. dan *Lemna sp*. Tanaman *Canna sp* dipilih dalam penelitian ini karena pertimbangan estetikanya yang bagus yaitu dari warna bunga yang cerah dan indah.

Aliran masuk berasal dari sebuah bak penampung berasal dari air buangan cucian peralatan gelas laboratorium yang berlangsung dari pukul 08.00-16.00 (Senin–Jum’at) ditambah dengan limbah pabrik tapioka yang dituangkan seminggu sekali sebanyak lima liter dalam tangki penampung limbahnya. Air buangan cucian gelas yang berasal dari laboratorium berfungsi sebagai pengencer karena komposisinya didominasi oleh air yang berasal dari kran. Selama penelitian ini berlangsung laboratorium tidak membuang reagen maupun sample kedalam saluran pembuangan sehingga secara kimiawi tidak akan berpengaruh signifikan terhadap hasil penelitian yang diharapkan. Aliran air dalam sistem ini berlangsung hanya mengandalkan pada gaya gravitasi.



Gambar 1. Diagram Rawa Buatan Tropis Jenis Aliran Horizontal Permukaan . A1 s/d A6 Merupakan Titik Pengambilan Sampel

Pengambilan Contoh dan Analisis Laboratorium

Pengambilan data dilakukan pada setiap titik pengambilan contoh pada tangki dalam sistem CWSSF. Pengukuran *in situ* menggunakan *Water Quality Checker* Horriba U-10, Kyoto-Jepang (pH, DO, konduktivitas, turbiditas, dan suhu) dengan tiga kali pengulangan dan pada saat bersamaan juga dilakukan pengukuran kecepatan aliran. Parameter COD, TOM, dan SS dianalisis di laboratorium menurut APHA (1995) dengan dua kali pengulangan. Pengambilan data dilakukan secara mingguan dimulai pada 17 Juli 2003 sampai 14 Agustus 2003.

Analisis Data

Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis lebih lanjut dengan software MS-Excell, baik untuk analisis pictorial berupa diagram batang dan *trend line analysis* serta matriks korelasi pada limit konfidensi 95 %. *Trendline* analisis digunakan untuk mengetahui pola kecenderungan hubungan antara besarnya capaian prosentasi eliminasi dan nilai pertambahan parameter yang diuji terhadap laju aliran limbah. Sedangkan diagram batang digunakan untuk mengetahui kuantitas laju alir yang memberikan nilai yang menggambarkan kinerja/efektifitas terbaik (berdasarkan capaian prosentasi eliminasi) pada parameter yang diuji. Kuantifikasi rata-rata parameter yang diuji juga dilakukan untuk setiap tangki agar fluktuasi selama periode pengamatan dapat dilihat dengan jelas. Sementara matriks korelasi digunakan untuk mengetahui kekuatan hubungan antar parameter yang diuji tingkat kepercayaan 95 %. Tingkat hubungan antar parameter diukur dari nilai korelasi (r) hasil perhitungan. Nilai r hasil perhitungan ini harus sama atau lebih besar dari nilai r tabel pada Tabel Nilai Kritis Koefisien Korelasi Pearson pada derajat kebebasan (α) tertentu. Pada penelitian ini diperoleh α sebesar 0,317. Dengan demikian yang akan

diperlihatkan hanya hubungan yang signifikan pada tingkat kepercayaan 95 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Penyisihan

Limbah industri tepung tapioka mengandung bahan organik dan nutrisi yang sangat tinggi sehingga merupakan media yang cocok bagi pertumbuhan mikroba dekomposer. Aktivitas dekomposer ini dalam mendekomposisi senyawa karbohidrat, protein dan sedikit asam-asam lemak yang ada dalam perairan akan menghasilkan berbagai gas berbau menyengat seperti H_2S , NH_3 , dan lain-lain (Wetzel, 2001). Oleh karena itu kandungan bahan organik dalam limbah ini perlu untuk dieliminasi.

Salah satu indikator penting keberadaan kandungan bahan organik ini adalah kuantitas COD dan TOM. Menurut Pucci *et al.* (2000) kedua parameter tersebut bersama SS diistilahkan sebagai *organic constituents* (penyusun organik). Kemampuan rawa buatan jenis aliran bawah permukaan (CWSSF) dalam menyisihkan pH, DO, turbiditas, konduktivitas, suhu, COD, dan SS disajikan dalam Tabel 1. Diantara semua parameter yang diuji ternyata SS merupakan parameter yang paling banyak disisihkan yaitu mencapai 96,67 %. Kemudian turbiditas juga banyak disisihkan (87,89%). Padatan tersuspensi 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 A1 (sedimentasi) dan menurun lagi pada tangki A2 yang berisi *Canna sp.*, tetapi dalam tangki A3 dan A4 terjadi peningkatan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh terjadinya pengadukan saat pengambilan data, karena saat itu sedang diadakan perbaikan pada tangki-tangki tersebut. Pola yang sama juga teramati pada turbiditas (Tabel 2).

Tabel 1. Efisiensi Sistem Rawa Buatan Aliran Bawah Permukaan (CWSSF) dalam Mengolah Limbah Cair Pabrik Tepung Tapioka.

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	87,89
Kond.(mS/cm)	0,68	1,38	
Suhu (OC)	30,60	29,82	
COD (mg/L)	223,62	60,42	72,98
TOM (mg/L)	1.251,10	594,53	52,48
SS (mg/L)	153,44	5,11	96,67

Tabel 2. Dinamika Kualitas Air dalam setiap Tangki CWSSF

Parameter	Tangki Limbah	Tangki 1	Tangki 2	Tangki 3	Tangki 4	Tangki 5	Tangki 6
pH	6,43	7,01	7,17	7,13	7,11	7,44	7,39
DO (mg/L)	3,81	3,54	2,55	7,65	6,60	9,43	6,01
Turb (NTU)	112,38	18,06	4,67	73,08	123,06	14,83	13,61
Suhu (OC)	30,60	31,57	29,50	28,78	28,73	28,98	29,82
COD (mg/L)	223,62	79,00	48,18	187,68	97,25	90,87	60,42
TOM (mg/L)	1.251,10	826,51	322,55	992,15	650,23	584,24	594,53
SS (mg/L)	153,44	9,33	2,83	449,83	188,11	6,83	5,11
Kond.(mS/cm)	0,68	1,96	0,76	2,08	0,99	1,46	1,38

Nilai COD dalam tangki penampung limbah tergolong tidak tinggi (hanya 223,62 mg/L) (Tabel 2) bila dibandingkan kandungan COD misalnya dalam limbah agroindustri yang dilaporkan mencapai 1.136 mg/L (Pucci *et al.*, 2000). Kemungkinan hal ini disebabkan oleh adanya efek pengenceran dari masuknya limbah cucian alat gelas dari laboratorium ke dalam tangki penampung limbah dalam sistem CWSSF. Sebaliknya untuk SS dalam limbah pabrik tepung tapioka yang diteliti ini ternyata lebih tinggi (153,44 mg/L) dibandingkan dalam limbah agroindustri (105 mg/L) seperti yang dilaporkan oleh Pucci *et al.* (2000) yang juga mengolah dengan rawa buatan jenis aliran bawah permukaan. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan sumber limbah, dimana limbah agroindustri yang dilaporkan oleh Pucci *et al.* (2000) merupakan hasil dari industri “diary”, industri saus tomat, jus apel dan anggur, dan minyak zaitun di Italia.

Sementara itu CWSSF menunjukkan prosentasi eliminasi penyusun organik yang cukup besar yaitu COD (72,98%), sedangkan eliminasi TOM hanya mencapai 52,48 %. Kuantitas rata-rata penyusun organik menunjukkan pola kecenderungan yang hampir sama yaitu penurunan yang drastis setelah melewati tangki sedimentasi (Tangki A1) tapi bervariasi naik dan turun setelah melewati tangki A2, A3 dan A4 (Tabel 2). Meskipun begitu kenaikan ini tetap mencapai nilai yang jauh lebih rendah dibandingkan konsentrasi awal yang teramati pada tangki limbah. Tampaknya variasi ini disebabkan oleh pengaruh aktifitas bakterial yang hidup dalam substrat dan bahkan melekat dalam sistem perakaran tanaman. Secara keseluruhan terlihat bahwa aplikasi sistem CWSSF sangat potensial dalam menyisihkan penyusun organik (seperti yang tersebut di atas) dalam limbah industri tepung tapioka ini.

Peningkatan Kuantitas Parameter Sesuai Baku Mutu Air

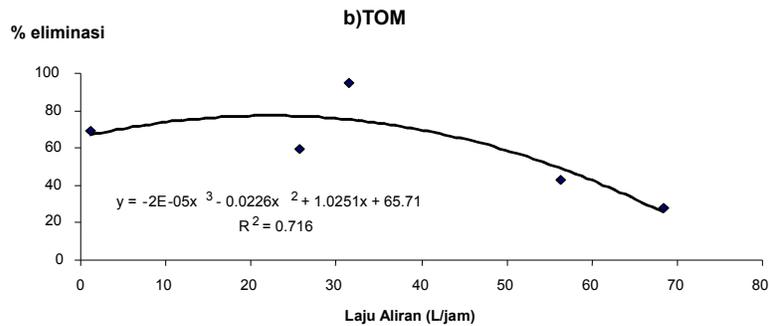
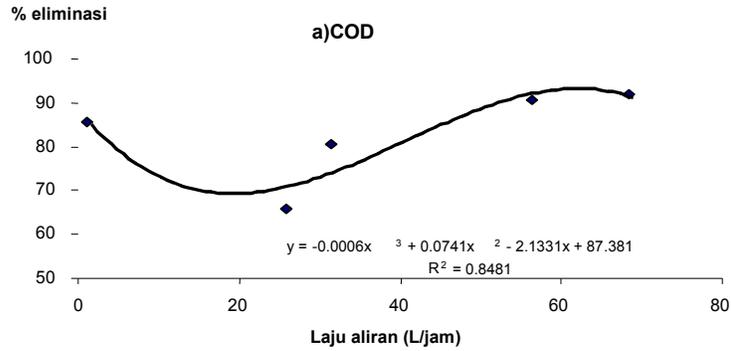
Setelah melewati seluruh komponen sistem ternyata level nilai pH meningkat dari 6,43 menjadi 7,39 atau makin mendekati nilai pH netral. Sedangkan kuantitas DO juga meningkat dari hanya 3,81 menjadi 6,01 mg/L (Tabel 1). Hasil ini mencerminkan bahwa kinerja tanaman yang berada dalam sistem ini berpengaruh cukup efektif, sebab hasil aktivitas fotosintesis tanaman tenggelam (*submerged*) yang cukup tinggi mampu menggeser keseimbangan ion-ion karbonat dalam perairan dan menyebabkan terjadi pergeseran nilai pH ke arah basa ($\text{pH} > 7$). Demikian pula halnya dengan DO, karena aktivitas fotosintesis tanaman tenggelam dan difusi oksigen dari atmosfer melalui sistem perakaran tanaman yang muncul ke permukaan (*emergent*) akan menghasilkan pasokan gas oksigen. Dalam CWSSF ini, tampak bahwa mulai pada tangki A2, A3 dan A4 (yang berisi tanaman *Canna sp.*, *Nymphaea stellata*, *Hydrilla sp.*, dan *Lemna sp.*) terjadi peningkatan nilai pH dan DO. Nilai DO yang tampak sedikit menurun dalam tangki 4 dibandingkan terhadap tangki A5 (Tabel 2) kemungkinan disebabkan oleh aktivitas mikroba yang mengkonsumsi oksigen yang hidup didalam tangki tersebut.

Kecuali untuk turbiditas, konduktivitas dan TOM, parameter lain (tabel 1) tidak melebihi nilai Baku Mutu Air Kelas III dan IV (PP no.82 Tahun 2001). Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pengolahan

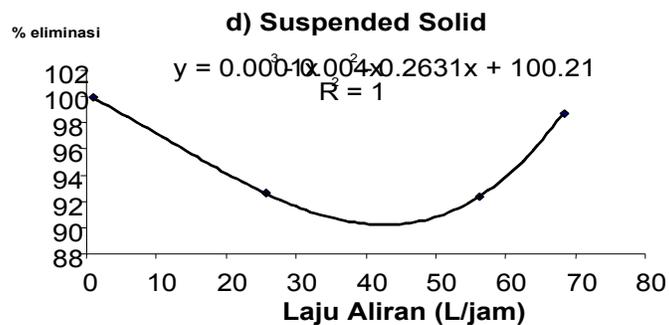
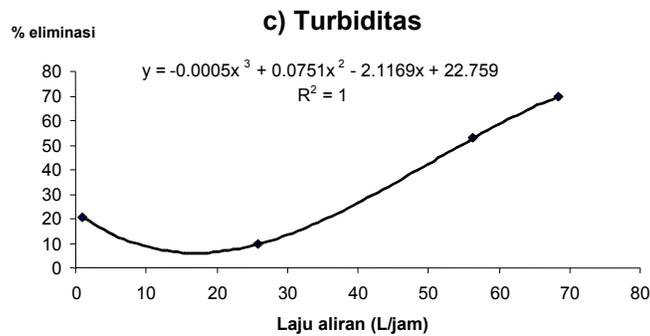
limbah cair pabrik tapioka dengan CWSSF ini memenuhi syarat untuk digunakan sebagai air untuk budidaya perikanan tawar dan peternakan (Baku Mutu Air kelas III) dan juga untuk irigasi dan pertanian (Baku Mutu Air kelas IV). Sebagaimana diketahui nilai baku mutu untuk TSS adalah 400 mg/L, 6-9 untuk pH, ≥ 3 mg/L untuk DO, deviasi 3 dari keadaan alami untuk suhu, dan 50 mg/L untuk COD (Baku Mutu Air kelas III). Sedangkan Baku Mutu Air kelas IV mensyaratkan untuk TSS adalah 400 mg/L, 5-9 untuk pH, ≥ 0 mg/L untuk DO, deviasi 5 dari keadaan alami untuk suhu, dan 100 mg/L untuk COD.

Hasil Analisis Pictorial

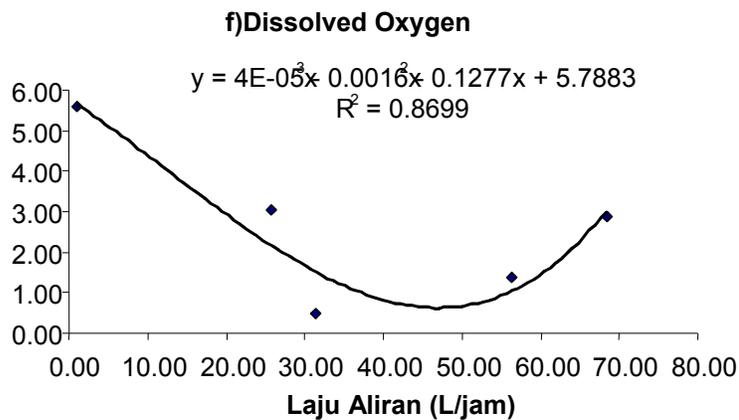
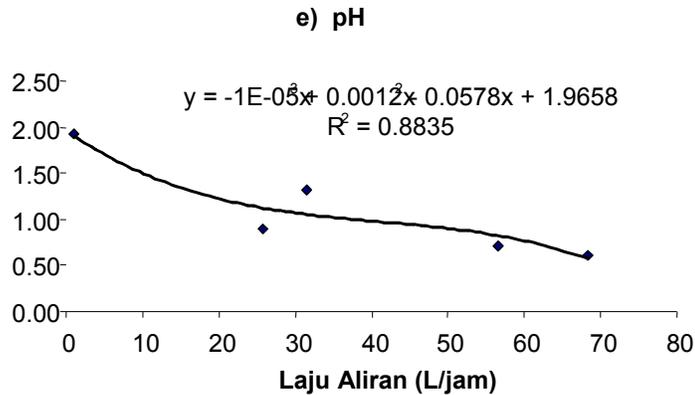
Hasil analisis *trendline* bahwa baik prosentase eliminasi COD dan TOM, serta peningkatan pH dan DO, SS dan turbiditas, kesemuanya memiliki hubungan polynomial orde 3 terhadap laju aliran limbah yang masuk kedalam sistem CWSSF (Gambar 2. a, b, c). Untuk tujuan prediktif, hubungan polynomial ini biasanya digunakan untuk mendeskripsikan secara grafis hubungan dua data set yang fluktuatif. Orde dalam hubungan polynomial menandakan adanya fluktuasi data. Hubungan ini begitu kuat bila dilihat dari masing-masing nilai r^2 -nya, terutama teramati pada parameter SS dan turbiditas dimana r^2 masing-masing mencapai 1,000. Ini berarti bahwa sebenarnya dalam hubungan tersebut masih banyak faktor kimia fisika biologis lain yang tampaknya berpengaruh atau sebagai kunci pengendali proses, yang harus juga diteliti.



Gambar 2a. Hasil Analisis Trendline Hubungan Antara Prosentase Eliminasi Parameter yang Diuji terhadap Laju Alir limbah kedalam Sistem CWSSF.



Gambar 2b. Hasil analisis trendline hubungan antara % eliminasi parameter yang diuji dengan laju alir limbah kedalam sistem CWSSF

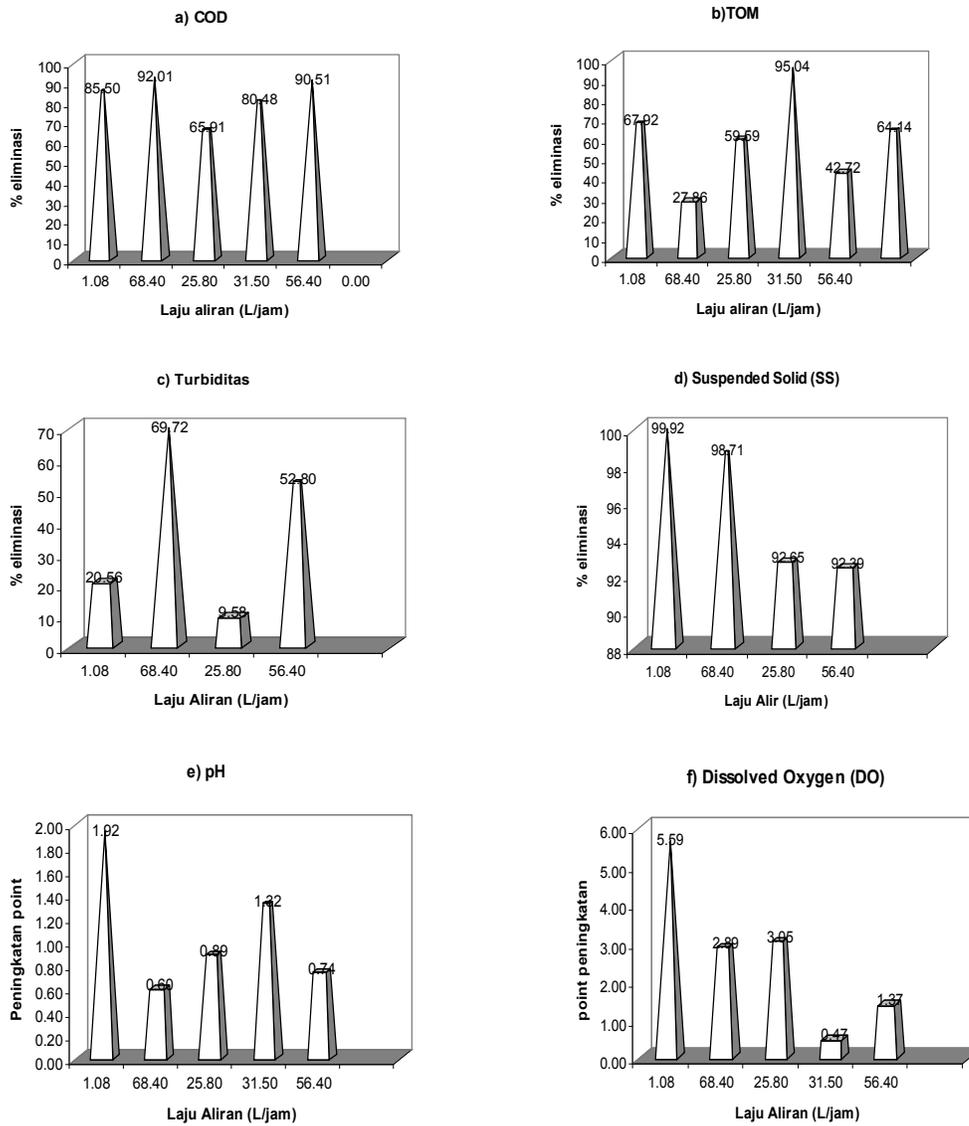


Gambar 2c. Hasil Analisis Trendline Hubungan Antara Kenaikan Point Parameter yang Diuji terhadap Laju

Eliminasi COD dan turbiditas tertinggi (92,01% dan 69,72 %) dijumpai pada laju aliran limbah 68,4L/jam, prosentase eliminasi TOM (95,04%) tertinggi pada laju aliran 31,5 L/jam, sementara itu, prosentase eliminasi SS tertinggi (99,92%) teramati pada laju aliran 1,08 L/jam (Gambar 3). Demikian juga nilai pH dan DO tertinggi teramati pada laju aliran 1,08 L/jam. Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa CWSSF perlu waktu yang paling lama untuk mengeliminasi COD dan turbiditas. Sedangkan untuk menaikkan pH dan DO serta mengeliminasi SS perlu waktu yang paling singkat. Sementara untuk mengeliminasi TOM bila dibandingkan dengan parameter lainnya perlu waktu yang moderat.

Hasil Analisis Matriks Korelasi antar Kuantitas Parameter Diuji

Analisis korelasi matriks yang hasilnya seperti dalam Tabel 3 merupakan upaya uji statistik dari hasil observasi terhadap parameter yang diamati. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan SS dalam limbah pabrik tepung tapioka ini memiliki korelasi tertinggi terhadap turbiditas. Fakta ini dapat dimengerti karena menurut Wetzel (2001) SS bersama dengan senyawa koloidal dalam perairan merupakan salah satu komponen penyebab terjadinya efek kekeruhan. Senyawa organik dalam perairan karena bobot molekulernya yang besar biasanya berbentuk sebagai koloid, itulah sebabnya dalam matriks tersebut tampak bahwa turbiditaspun berkorelasi cukup signifikan terhadap TOM.



Gambar 3. Grafik Hubungan Laju Aliran Limbah dengan Prosentase Eliminasi

Tabel 3. Matriks Korelasi Hubungan antar Parameter; hanya Hubungan yang Signifikan pada Limit Konfidensi 95% saja yang ditampilkan ($\alpha=0,317$)

	<i>COD</i>	<i>SS</i>	<i>TOM</i>	<i>pH</i>	<i>Turb</i>	<i>DO</i>
Laju Aliran						
COD						
SS						
TOM	0,402	0,393				
pH						
Turb		0,905	0,383			
DO				0,340		
suhu						
Tangki						0,551

Catatan: Turb= Turbiditas

Yang menarik ternyata hasil pengamatan terhadap DO juga berkorelasi cukup tinggi terhadap tangki (Tabel 3), tampaknya hal ini berhubungan dengan ada atau tidaknya vegetasi baik jenis *emergent* maupun *submergent* yang hidup dalam tangki. Fenomena ini konsisten dengan karakteristik kinerja CWSSF dalam meningkatkan parameter kualitas air yang telah diterangkan sebelumnya.

KESIMPULAN

Penerapan sistem CWSSF secara efektif mampu mengolah limbah pabrik tepung tapioka, terutama untuk mengeliminasi SS, turbiditas dan COD. Laju aliran limbah dalam sistem sangat berpengaruh terhadap kinerja CWSSF dalam mengolah limbah cair pabrik tepung tapioka yang digunakan dalam penelitian ini. Masih diperlukan studi lebih lanjut tentang proses biogeokimia yang menjadi kunci pengendali proses yang terjadi dalam sistem CWSSF ini

UCAPAN TERIMA KASIH

Pembuatan dan pengoperasian CWSSF skala kecil ini didanai oleh anggaran yang diperoleh dari anggaran APBN Puslit Limnologi LIPI tahun 2003. Penulis menyampaikan rasa terima kasih pada Endang Mulyana atas bantuan teknis dan Uci dalam pekerjaan analisis di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 2000, Tepung tapioka. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI. www.warintek.net/tepung_tapioka.htm.
- Anonim. Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.

- Crites R. W., 1994. Design criteria and practice for constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.* 29 (4). 1-6 .
- Hammer, D.A., 1989, *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment : Municipal, industrial and agricultural*. Lewis Publisher. Chelsea, Michigan. 390 p.
- Meutia. A.A., 2000. Treatment of laboratory waste water in subsurface and surface flows of tropical constructed wetland. 7th International Conferences on wetland systems for water pollution control. Vol.III. University of Florida-International Water Association. November 11-16.2000 1600pp.
- Meutia. A.A., 2002. Pengolahan air limbah dengan rawa buatan. Prosiding Seminar Nasional Limnologi-LIPI. Bogor.
- Martin C.D. & Johnson K.D., 1995, The use of extended aeration and in-series surface flow wetland for landfill leachate treatment. *Wat. Sci. Tech.* 32(3). 119-128.
- Pucci, B. G. Conte, N. Martinuzzi, L. Giovanelli & F. Masi., 2000. Design and Performance of Horizontal Flow Constructed Wetland for Treatment of Dairy and Agricultural Waste water in the Chianti countryside. 7th International Conference on Wetland System for water Pollution Control. Vol.3pp. 1433-1443.
- Standard Methods for the Examination of water and waste water., 19th eds. APHA-AWWA-WEF. Washington DC. USA.
- Wood A., 1995. Constructed wetlands in pollution control: fundamentals to their understanding. *Wat. Sci. Tech.* 32(3). 21-29.
- Wetzel. R.G., 2001, *Limnology*. 3th Ed. W.B. Saunders College Company Publishing. Philadelphia. London.743 p.

