

**EFISIENSI PENYISIHAN ORGANIK LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU
DENGAN ALIRAN *HORIZONTAL SUBSURFACE* PADA *CONSTRUCTED
WETLAND* MENGGUNAKAN *Typha angustifolia***

***ORGANIC REMOVAL EFFICIENCY OF WASTEWATER FROM SOYBEAN
CURD INDUSTRY BY HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW IN
CONSTRUCTED WETLAND USING *Typha angustifolia****

Aulia Fajar Rahmani¹ dan Marisa Handajani²

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung,
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹aulia.fajar@students.itb.ac.id dan ²marisa.handajani@ftsl.itb.ac.id

Abstrak: Industri tahu menghasilkan limbah cair yang mengandung kadar organik yang tinggi. Sebelum dibuang ke badan air, limbah cair tersebut perlu diolah agar memenuhi baku mutu. Salah satu metode pengolahan yang dapat diterapkan adalah horizontal constructed wetland dengan sistem aliran sub-surface. Penelitian ini menggunakan reaktor yang ditanami *Typha angustifolia*. Air yang masuk ke reaktor merupakan efluen hasil produksi tahu yang telah diendapkan dan diencerkan. Variasi yang digunakan adalah perbedaan beban organik yaitu 500 mg/L COD dan 1000 mg/L COD; dan HRT (hydraulic residence time) atau waktu detensi yaitu 0.5 hari, 1 hari, dan 2 hari. Di antara variasi tersebut, efisiensi penyisihan TSS tertinggi (89,4%) dihasilkan dari variasi dengan konsentrasi influen 1000 mg/L COD dan waktu detensi 2 hari, efisiensi penyisihan COD tertinggi (90,59%) dihasilkan dari variasi dengan konsentrasi influen 500 mg/L COD dan waktu detensi 1 hari, efisiensi penyisihan Fosfat tertinggi (85,15%) dihasilkan dari variasi dengan konsentrasi influen 1000 mg/L COD dan waktu detensi 2 hari., efisiensi penyisihan Nitrogen tertinggi (53,24%) dihasilkan dari variasi dengan konsentrasi influen 500 mg/L COD dan waktu detensi 0,5 hari. Secara garis besar, reaktor wetland dengan tanaman *Typha angustifolia* dapat menurunkan parameter organik sehingga sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan.

Kata kunci: waktu detensi, beban organik, pengendapan, limbah tahu, wetland.

Abstract: Soybean curd industry produces wastewater contains a high amount of organic content. The wastewater should be treated until it complies with the requirement of effluent standard before disposal to water body. One of the treatment methods is horizontal constructed wetland with sub-surface flow system. This research was using two reactor that has been planted by *Typha angustifolia*. The wastewater was a sedimented and dilluted effluent from tofu production proccess. The variation of this research is difference between organic loading which are 500 mg/L COD and 1000 mg/L COD; and HRT (hydraulic retention time which are 0.5 day, 1 day, and 2 days. Within those variation, the highest removal efficiency of TSS (89,4%) is resulted from variation with influent concentration 1000 mg/L COD and HRT 2 days, the highest removal efficiency of COD (90,59%) is resulted from variation with influent concentration 500 mg/L COD and HRT 1 day, the highest removal efficiency of Phosphate (85,15%) is resulted from variation with influent concentration 1000 mg/L COD and HRT 2 days, and the highest removal efficiency of Nitrogen (53,24%) is resulted from variation with influent concentration 1000 mg/L COD and HRT 0,5 day. Overall, constructed wetland reactor with *Typha angustifolia* plantation could decrease organic parameter from soybean curd wastewater until meet the effluent standard.

Key words: Hydraulic Residence Time, organic loading, sedimentation, soybean curd waste, wetland.

PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan industri yang banyak tersebar di Indonesia. Tingginya permintaan masyarakat dapat disebabkan oleh gizi yang terkandung dalam tahu dan harganya yang terjangkau. Proses pembuatan tahu yang dilakukan industri skala rumah tangga akan menghasilkan limbah, utamanya limbah cair. Limbah cair tersebut mengandung sisa dari susu tahu yang tidak tergumpal menjadi tahu. Umumnya, air limbah tahu mengandung zat organik seperti protein, karbohidrat dan lemak. Di samping itu, terkandung juga padatan tersuspensi atau padatan terendap misalnya potongan tahu yang hancur pada saat pemrosesan yang kurang sempurna. Padatan tersuspensi maupun terlarut tersebut akan mengalami perubahan baik secara fisik maupun kimiawi yang menghasilkan senyawa beracun yang mencemari lingkungan. Pabrik dengan skala rumah tangga menggunakan peralatan yang masih sederhana dan tidak memiliki sistem pengolahan limbah cair tersendiri. Air limbah yang dihasilkan langsung dibuang ke saluran atau menuju badan air penerima seperti sungai.

Pengolahan air limbah yang mengandung banyak zat organik pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah secara biologi memanfaatkan mikroorganisme atau tanaman sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Saat ini telah banyak dikembangkan berbagai teknologi pengolahan, salah satunya menggunakan lahan basah buatan (*constructed wetland*). Menurut Kangas (2004), penggunaan wetland untuk pengolahan air buangan dimulai pada awal tahun 1970. Wetland memiliki banyak fungsi sebagai habitat liar, purifikasi air dan pengatur banjir (Nakamura, 2010).

Setiap tahunnya, berjuta *constructed wetland* sudah digunakan untuk mengolah air buangan dengan karakteristik yang berbeda, termasuk air buangan domestik, berbagai macam air limbah industri, air buangan pertanian, dan air hujan (Frazer Williams, 2010).

Constructed wetland adalah sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang telah didesain dan dibangun dengan menggunakan proses alami yang melibatkan vegetasi, media, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah. *Constructed wetland* adalah teknologi alammi untuk pengolahan air buangan dengan biaya rendah dan muncul sebagai teknologi tepat guna (Faulwetter et al., 2009). Bagian penting dari kinerja pengolahan dalam sistem ini berhubungan dengan keberadaan dan aktivitas tanaman dan mikroorganisme (Krasnits et al., 2009).

Vegetasi yang digunakan dalam perancangan *constructed wetland* umumnya adalah tumbuhan akuatik yang relatif tahan terhadap beban pengolahan dan dapat menjadikan kandungan pada zat pencemar sebagai nutrisi untuk mendukung pertumbuhan. *Typha domingensis* dan jenis *Typha* lainnya dapat digunakan untuk pengolahan air limbah. Dalam skala global, *Typha sp.* memiliki potensi sebagai komponen dalam sistem akuatik untuk pengolahan air limbah (Brink, 2003). Berdasarkan Pancho (1978), jenis tanaman *Typha*, atau sering disebut *cattails* (ekor kucing) yang ada di wilayah Asean, khususnya Indonesia adalah *Typha angustifolia*.

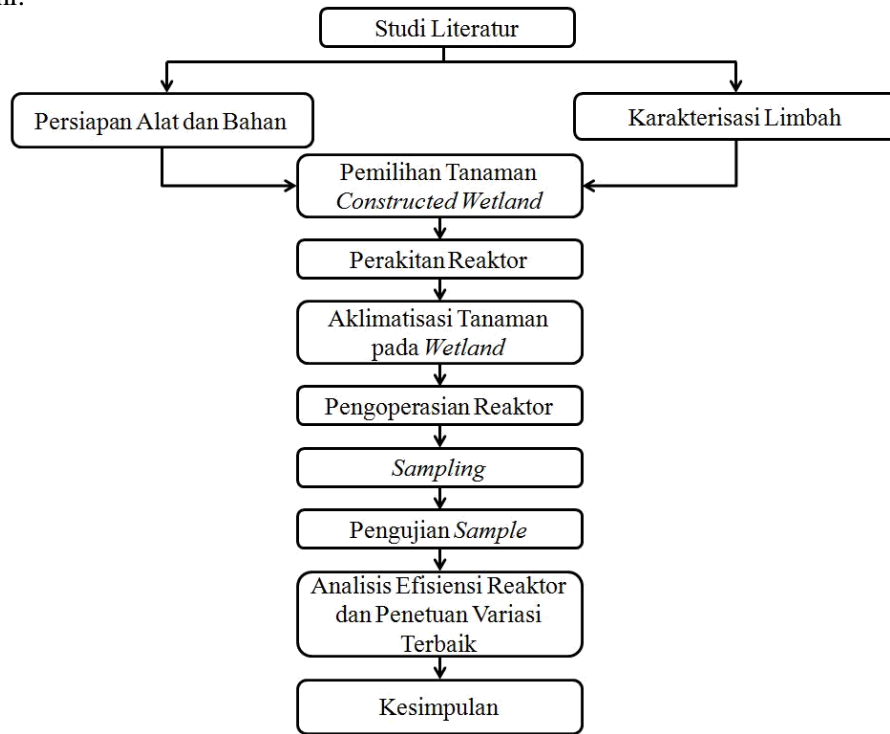
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban pengolahan dan waktu detensi dalam kinerja *horizontal subsurface flow constructed wetland* untuk mengolah limbah cair pabrik tahu di Dago Atas menggunakan tanaman *Typha angustifolia*.

METODOLOGI

Penelitian ini fokus kepada efisiensi penyisihan *constructed wetland* dalam mengolah air buangan pabrik tahu skala kecil, khususnya air yang sudah melalui pengolahan pendahuluan berupa pengendapan dan pengenceran. Diagram alir metodologi dapat dilihat pada **Gambar 1**.

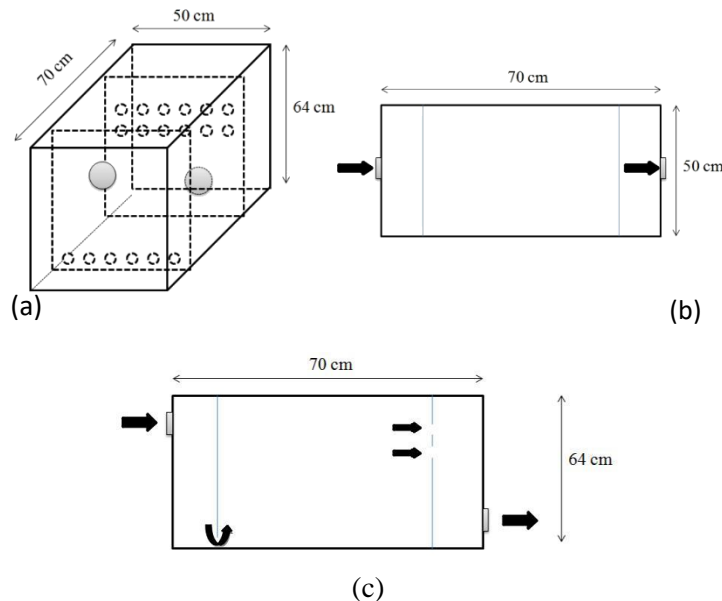
Pada tahap awal penelitian, dipersiapkan alat dan bahan untuk menyusun rangkaian reaktor wetland berupa tangki pengendapan, tangki pengenceran, dan reaktor wetland. Tangki pengendapan dan pengenceran berupa tong silinder memiliki dimensi yang sama dengan diameter 40 cm dan tinggi 75 cm. Reaktor wetland terbuat dari bahan resin dengan ukuran 70 cm x 50 cm x 64 cm yang diberi sekat. Media yang digunakan adalah tanah, pasir, dan kerikil. Media yang sudah disusun dalam reaktor perlu dijenuhkan dengan diisi air keran untuk melarutkan tanah. Air dialirkan ke dalam reaktor hingga permukaan tanah pada reaktor tergenang. Kondisi ini dibiarkan agar pori-pori antar partikel media terisi penuh oleh air. Tahap

penjenuhan selesai jika muka air pada reaktor tidak mengalami penurunan dan menandakan media siap untuk ditanami.

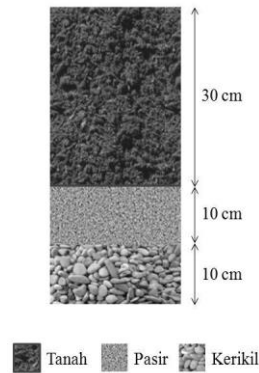


Gambar 1. Diagram alir metodologi

Reaktor terbagi menjadi 3 bagian yaitu zona *inlet*, zona pengolahan, dan zona *outlet* sebagaimana tergambar pada **Gambar 2**. Pada bagian inlet dan outlet, ditambahkan kerikil sedangkan pada zona pengolahan, disusun media 30 cm tanah, 10 cm pasir, dan 10 cm kerikil seperti terlihat pada **Gambar 3**.



Gambar 2. (a) Isometrik, (b) denah dan (c) potongan melintang (c) reaktor beserta arah alirannya

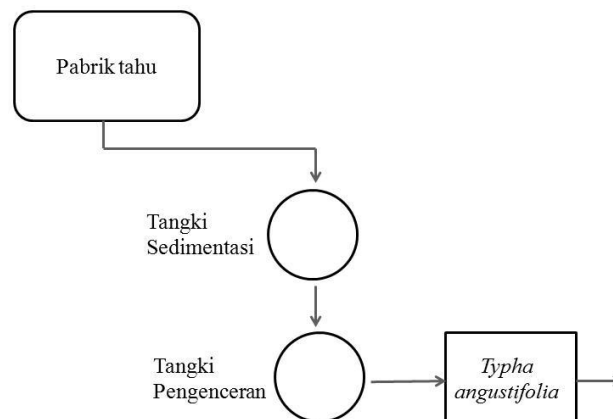


Gambar 3. Susunan media pada zona pengolahan

Sistem pengoperasian yang dilakukan adalah mencampurkan air limbah hasil pengendapan dengan air pengencer di dalam tangki pengencer berdasarkan jumlah pengenceran yang sudah ditentukan. Dari tangki pengenceran, campuran limbah tersebut dialirkan ke dalam reaktor menggunakan pompa yang telah diatur debitnya menggunakan keran.

Tanaman yang dipilih berdasarkan studi literatur dan penelitian-penelitian sebelumnya adalah *Typha angustifolia* dan *Scirpus grossus*. Penanaman dilakukan saat media ada dalam kondisi jenuh dengan kerapatan 1 tanaman/15cm². Tahap aklimatisasi dilakukan setelah penanaman yaitu dengan mengalirkan air bersih ke dalam media reaktor yang sudah ditanami. Aklimatisasi bertujuan untuk menguji ketahanan tanaman agar dapat dipastikan bahwa penelitian reaktor constructed wetland ini menggunakan tanaman berkualitas baik.

Pengoperasian reaktor dilakukan setelah aklimatisasi tanaman dengan mengalirkan limbah sesuai konsentrasi yang ditentukan dan debit yang didapat dari penentuan waktu detensi. Skema reaktor dapat dilihat pada **Gambar 4**. Industri tahu yang berlokasi di Dago Atas membuang limbah cair dari hasil produksi tahu sebanyak 424 L/hari. Limbah dialirkan ke dalam tangki pengendapan menggunakan pipa sepanjang 12 meter.



Gambar 4. Skema reaktor

Penelitian ini menggunakan 1 tangki sedimentasi, 1 tangki pengenceran, dan 2 reaktor *constructed wetland*. Tangki Sedimentasi menampung limbah cair pabrik tahu untuk kemudian diendapkan selama 2 jam. Limbah cair yang telah mengalami pengurangan TSS dari hasil pengendapan kemudian diencerkan dengan air tanah sehingga mencapai konsentrasi 500 mg/L COD dan 1000 mg/L COD. Pada masing-masing konsentrasi tersebut dilakukan variasi waktu detensi sebesar 0,5 hari, 1 hari, dan 2 hari. Reaktor berisi

media yang ditanami *Typha angustifolia* untuk mengurangi zat pencemar organik. Kerangka percobaan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kerangka percobaan

Konsentrasi COD	Variasi	Waktu detensi,	Debit
		td (hari)	(ml/menit)
500 mg/L	1	2	36,46
	2	1	72,91
	3	1/2	145,83
1000 mg/L	4	2	36,46
	5	1	72,91
	6	1/2	145,83

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode *grab sample* pada 2 bagian yaitu *inlet* dan *outlet* reaktor. Sampel diambil setiap hari pada pukul 07.00 untuk mengecek nilai pH, temperatur, DHL, dan COD. Pengujian parameter seperti BOD, NTK, dan Total Fosfat dilakukan pada kondisi tunak dimana efisiensi COD menunjukkan angka yang stabil, yaitu dengan fluktuasi sebesar 10%. Alat yang digunakan untuk sampling dan pengujian dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Alat sampling dan pengukuran parameter

Parameter	Metode	Alat	Frekuensi
			Pengukuran
pH	SMEWW4500-H+	pH meter	Setiap Hari
Temperatur	SMEWW 2550	Thermometer	
COD	SMEWW 5220-B	Tabung COD mikro	
BOD	SMEWW 5210-B	Botol Winkler	Saat kondisi tunak
TSS	SMEWW-2540-B	Cawan, waterbath, oven 105°C, TSS meter	
NTK	SMEWW-4500-Norg-B	Labu Kjeldhal	
Total Fosfat	SMEWW-4500-P-B-D	Spektrofotometer	

Penentuan efisiensi penyisihan pencemar dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 1** sebagai berikut.

$$\eta = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

η menunjukkan efisiensi penyisihan, C_0 menunjukkan konsentrasi pada *inlet* dalam mg/L, dan C_e menunjukkan konsentrasi pada *outlet* dalam mg/L. Parameter yang menjadi fokus utama adalah organik yang diwakili oleh nilai COD, Nitrogen, dan Fosfat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair industri tahu di Dago Atas, Bandung. Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui kandungan limbah untuk penyesuaian desain dan pengaturan saat operasional. Data hasil karakterisasi pun dapat digunakan sebagai perbandingan dengan

hasil karakterisasi limbah cair industri tahu yang pernah dilakukan sebelumnya baik dari sumber yang sama ataupun sumber limbah yang berbeda lokasi. Karakteristik limbah industri tahu dari Dago Atas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Karakteristik limbah cair industri tahu Dago Atas

Parameter	Satuan	Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu			Baku Mutu Industri Tahu*)
		Dago Atas			
		Tanpa pengendapan	Dengan pengendapan	Dengan pengenceran	
		Tahun 2013	Tahun 2014	Tahun 2014	
Temperatur	oC	-	20 - 22,7	19 - 28	Dev.3
pH	-	3,6 - 4	3,6 - 4,1	4,8 - 7,1	6-9
TSS	mg/L	1039	511 - 675	185 - 393	200
COD	mg/L	12427	10285	558 - 1117	300
BOD	mg/L	-	4084,457	236 - 679	150
NTK	mg/L	214	130,2 - 214	14 - 28	-
NH ₃	mg/L	34,265	46,3 - 74,46	1,97 - 6,8	-
Total Fosfat	mg/L	51,15	10,96	5,9 - 12,1	-
Orthofosfat	mg/L	-	5,48	1,98 - 5,5	-

*) Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.15 Tahun 2008 tentang baku mutu air limbah industri pengolahan kedelai

Dari **Tabel 3** terlihat bahwa konsentrasi *Total Suspended Solid* dari limbah yang dihasilkan adalah 1196 mg/L yang nilainya tinggi. Jika kadar padatan semakin tinggi, maka resiko *clogging* (penyumbatan) media pun semakin besar dan akan menurunkan *hydraulic conductivity*. Menurut Setiyawan (2007), *hydraulic conductivity* yang semakin menurun akan mengurangi efisiensi pengolahan dari sistem.

Kandungan nitrogen yang diukur melalui pengujian NTK menunjukkan angka yang tinggi pula yaitu 214 mg/L. Kadar nitrogen yang berlebih ini dapat memberikan keuntungan bagi tanaman karena nitrogen merupakan nutrisi yang dibutuhkan bagi pertumbuhan. Nilai total fosfat dari hasil pengujian pun menunjukkan angka yang melebihi baku mutu limbah cair industri tahu. Sama halnya seperti nitrogen, kandungan fosfat dapat menjadi faktor pendukung pertumbuhan tanaman.

Limbah tahu memiliki kandungan organik yang tinggi, ditunjukkan oleh nilai COD sebesar 13000 mg/L dan BOD sebesar 7200 mg/L. Menurut Setiyawan (2007), perbandingan BOD dan COD untuk limbah tahu sebesar 0,4-0,59. Besar rasio BOD dan COD yang kecil menunjukkan bahwa limbah bersifat *less biodegradable* atau sulit didegradasi melalui pengolahan biologis. Pada penelitian ini, rasio limbah air tahu termasuk bernilai kecil yaitu 0,56.

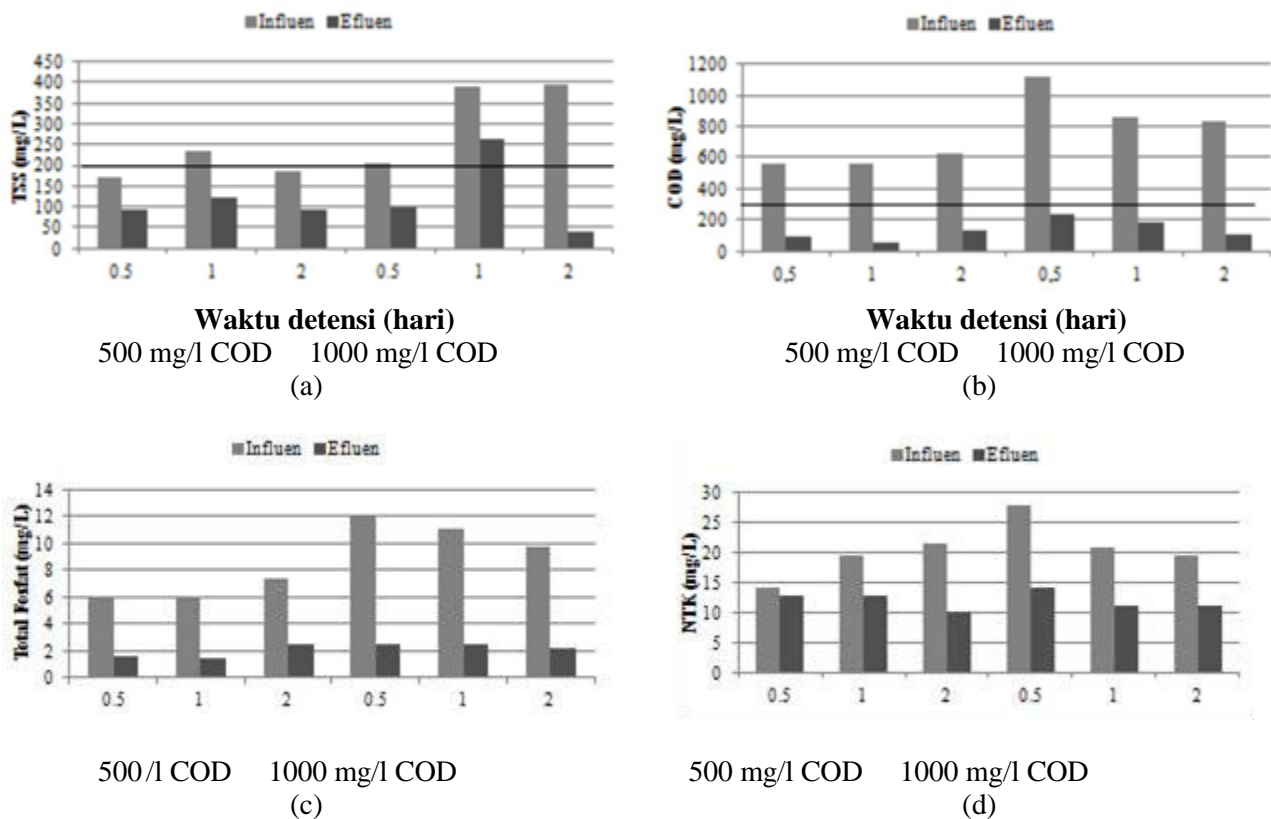
Sebelum dialirkan ke dalam *reaktor* wetland, limbah asli perlu diencerkan terlebih dahulu untuk mencapai konsentrasi mg/L COD yang ditentukan. Pengenceran dilakukan menggunakan air tanah yang kadar organiknya relatif kecil dan tidak mempengaruhi kualitas influen yang akan diolah oleh reaktor *constructed wetland*. Karakteristik air pengencer yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Dari **Tabel 4**, kandungan organik, nitrogen dan fosfat dalam air pengencer menunjukkan nilai yang rendah dan dapat disimpulkan bahwa kadar organik dalam air pengencer tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap influen yang akan masuk ke dalam reaktor.

Tabel 4. Karakteristik air pengencer

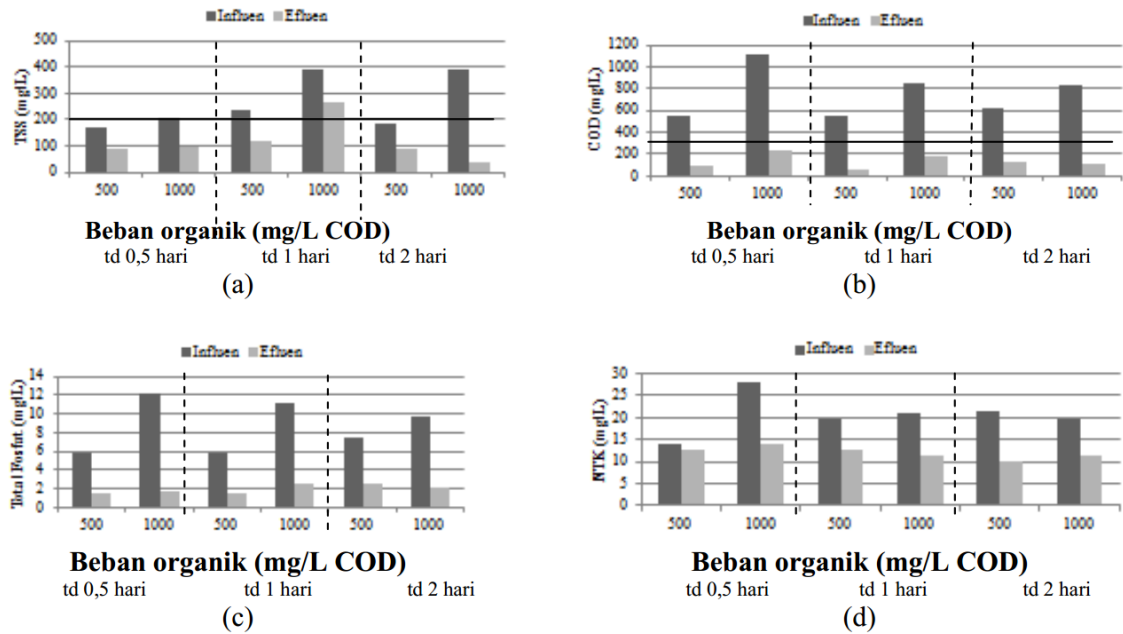
Parameter	Satuan	Nilai
Temperatur	oc	23
pH	-	6,8
TSS	mg/L	47,29 - 57,78
COD	mg/L	17,14 - 34,29
NTK	mg/L	0,56 – 1,12
NH ₃	mg/L	0,4
Total Fosfat	mg/L	0,1

Pada proses penyisihan, faktor yang difokuskan adalah pengaruh waktu detensi dan beban organik. Penyisihan berdasarkan waktu detensi dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Penyisihan (a) *Total Suspended Solid*, (b) *Chemical Oxygen Demand*, Total Fosfat, dan (d) Nitrogen Total Kjeldahl terhadap waktu detensi

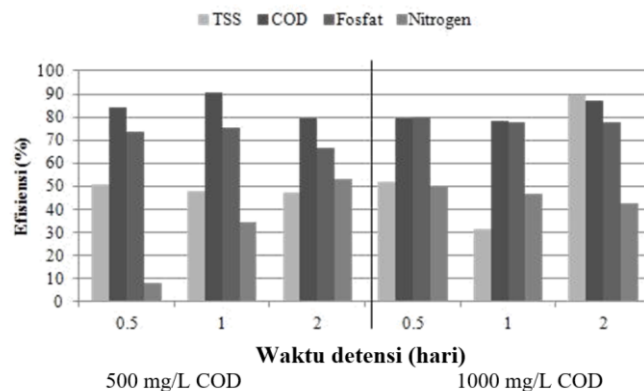
Penyisihan berdasarkan beban organik dapat dilihat pada **Gambar 7**. Menurut Campbell & Ogden (1999) dalam Kurniawan (2005) pada dasarnya kandungan organik tidak hilang pada sistem rawa buatan ini, melainkan mengalami peristiwa sebagai berikut berikut: (1) Dikonversikan ke plant material; (2) Dikembalikan ke atmosfer; (3) Terendapkan ke dasar *wetland*; (4) Dikeluarkan ke aliran air *downstream*. COD yang berhubungan dengan zat yang terendapkan (*settleable solids*) di dalam air buangan dihilangkan oleh proses sedimentasi. COD terlarut dan dalam bentuk koloid yang masih tersisa dalam larutan dapat dihilangkan sebagai hasil dari proses aktifitas metabolisme dan interaksi kimia fisik didalam zona perakaran/matrik substrat (Wood, 1990 dalam Fitriarini, 2002).



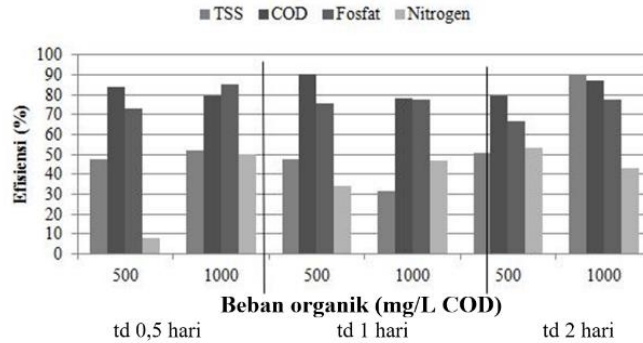
Gambar 7. Penyisihan (a) *Total Suspended Solid*, (b) *Chemical Oxygen Demand*, (c) *Total Fosfat*, dan (d) *Nitrogen Total Kjeldahl* terhadap beban organik

Kandungan TSS menurun karena terjadi proses filtrasi atau penyaringan oleh media dan juga jaringan akar di antara media. Sementara nitrogen dan fosfat berkurang karena terjadi mekanisme penyerapan oleh tanaman yang menjadikannya sebagai nutrisi untuk mendukung pertumbuhan.

Berdasarkan **Gambar 8** dan **Gambar 9**, penyisihan TSS tertinggi sebesar 89,4% dihasilkan dari variasi dengan waktu detensi detensi 2 hari dan beban organik 1000 mg/L COD. Penyisihan COD tertinggi sebesar 90,59% dihasilkan dari variasi waktu detensi 1 hari dan beban organik 500 mg/L COD. Penyisihan Total Fosfat tertinggi sebesar 85,15% dihasilkan dari variasi waktu detensi 2 hari dan beban organik 1000 mg/L COD. Sedangkan penyisihan NTK tertinggi sebesar 53,24% dihasilkan dari variasi waktu detensi 0,5 hari dan beban organik 500 mg/L COD.



Gambar 8. Efisiensi penyisihan parameter pencemar terhadap waktu detensi



Gambar 9. Efisiensi penyisihan parameter pencemar terhadap beban organik

Menurut Debing (2008), vegetasi *Typha* memiliki penyisihan COD, NTK, dan Total Fosfat yang tinggi untuk beban yang rendah. Sementara dalam penelitian ini, penyisihan pencemar pada limbah cair industri tahu dengan beban COD yang lebih tinggi menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi *wetland* yang sudah lebih stabil saat beban organik tinggi. Selain itu, beban organik sebesar 1000 mg/L COD masih berada dalam rentang beban yang dapat diterima *wetland*. Menurut Chazarenc (2007), peningkatan beban organik dari limbah yang larut dalam air dapat diolah tanpa menurunkan kinerja *wetland* dalam menurunkan TSS dan COD.

KESIMPULAN

Penelitian ini terfokus pada pengukuran efisiensi penyisihan kadar organik, nitrogen, dan fosfat dari limbah cair pabrik tahu yang berlokasi di Dago Atas. Pengolahan dilakukan menggunakan *constructed wetland* dengan jenis aliran *horizontal subsurface*. Pemilihan tanaman untuk pengolahan ini adalah *Typha angustifolia* untuk menurunkan kadar organik. Variasi yang dilakukan yaitu konsentrasi beban pengolahan sebesar 500 dan 1000 mg/L COD, dan variasi waktu detensi sebesar 0.5, 1, dan 2 hari.

Efisiensi penyisihan terbesar untuk parameter TSS (89,4%) terjadi pada waktu detensi 2 hari dan beban organik 1000 mg/L COD. Efisiensi penyisihan terbesar untuk parameter COD (90,59%) terjadi pada waktu detensi 1 hari dan beban organik 500 mg/L COD. Efisiensi penyisihan terbesar untuk parameter Fosfat (85,15%) terjadi pada waktu detensi 2 hari dan beban organik 1000 mg/L COD. Efisiensi penyisihan terbesar untuk parameter Nitrogen (53,24%) terjadi pada variasi waktu detensi 0,5 hari dan beban organik 500 mg/L COD. Dapat disimpulkan bahwa *Typha angustifolia* yang digunakan dalam penelitian ini mampu mengurangi kandungan COD dan Total Fosfat dalam limbah cair pabrik tahu dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Chazarenc, F., Maltais-Landry, G., Troesch, S., Comeau, Y., Brisson, J (2007). Effect of loading rate on performance of constructed wetlands treating an anaerobic supernatant. *Water Science & Technology* Vol 56 No 3 pp 23–29. IWA Publishing 2
- Debing, J., Lianbi, Z., Xiaosong, Y., Jianming, H., Mengbin, Z., Yuzhong, W. (2009). COD, TN and TP removal of *Typha* wetland vegetation of different structures. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 18, No. 2 (2009), 183-190.
- Faulwetter, J.L., Gagnon, V., Sundberg, C., Chazarenc, F., Burr, M.D., Brisson, J., Camper, A.K., Stein, O.R (2009). Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: a review. *Ecol. Eng.*, 35 (2009), pp. 987–1004
- Kangas, Patrick C. 2004. *Ecological Engineering, Principles and Practice*. Florida : Lewis Publishers.
- Keigo, N., Miki, O., Shimatani, Y. (2010). Compact Wetland System for Urban Area in Japan. *Krasnits, E., Friedler, E., Sabbah, I., Beliavski, M., Tarre, S., Green, M.* (2009). Spatial distribution of

- major microbial groups in a well established constructed wetland treating municipal wastewater. *Ecol. Eng.*, 35 (2009), pp. 1085–1089.
- Brink, M. 2003. *Plant Resources of South-East Asia*. Leiden : Backhuys Publishers.
- Pancho, Juan V. 1978. *Aquatic Weeds of Southeast Asia, A Systematic Account of Common Southeast Asian Aquatic Weeds*. Quezon City : National Publishing Cooperative Incorporated.
- Frazer-Williams, R. A review of the influence of design parameters in the performance of constructed wetlands. *Journal of Chemical Engineering, IEB Vol. ChE. 25, No. 1*.