

**EFISIENSI PENYISIHAN ORGANIK AIR SODETAN SUNGAI
CITARUM MENGGUNAKAN CONSTRUCTED WETLAND
DENGAN TANAMAN *Typha sp.* DAN *Scirpus grossus*
(STUDI KASUS : DESA DARAULIN, KABUPATEN BANDUNG**

**ORGANIC REMOVAL EFFICIENCY IN CITARUM RIVER
(SODETAN) USING CONSTRUCTED WETLAND WITH
Typha sp. AND *Scirpus grossus*
(STUDY CASE : DARAULIN VILLAGE, BANDUNG REGENCY)**

Arie Fandya¹ dan Prayatni Soewondo²

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

*¹arie.fandya@yahoo.com dan ²prayatnisoe@yahoo.com

Abstrak: Sungai Citarum adalah sungai terpanjang dan terbesar di Provinsi Jawa Barat, Indonesia. Setiap musim hujan di sepanjang Sungai Citarum di wilayah Bandung Selatan selalu dilanda banjir, oleh karena itu pemerintah membuat proyek normalisasi Sungai Citarum. Tetapi hasil proyek itu sia-sia karena tidak ada sosialisasi terhadap masyarakat sekitar sehingga sungai tetap menjadi tempat pembuangan sampah dan limbah pabrik. Kampung Daraulin dikelilingi oleh Sungai Citarum yang sudah tercemar yang diperkirakan mengandung beberapa parameter tercemar seperti BOD, COD, Total Nitrogen, Total Fosfat, serta TSS. Salah satu konsep yang dapat digunakan untuk menjadi solusi yaitu menggunakan constructed wetland dengan tanaman *Typha sp.* dan *Scirpus grossus*. Penelitian dilakukan sebanyak 2 kali running dengan media ijuk, kerikil, dan tanah lembang. Efisiensi penyisihan rata-rata pada constructed wetland untuk parameter COD adalah 89,7% untuk reaktor I dan 87,6% untuk reaktor II; untuk parameter NTK sebesar 31,4% untuk reaktor I dan sebesar 26,4 untuk reaktor II; untuk parameter nitrit adalah sebesar 90,5% untuk reaktor I dan sebesar 94,1% untuk reaktor II; untuk parameter nitrat sebesar 94,9% untuk reaktor I dan sebesar 84,6% untuk reaktor II; untuk parameter ammonium mengalami kenaikan sebesar 142,4% untuk reaktor I dan sebesar 121,9% untuk reaktor II; untuk parameter total fosfat sebesar 72,7% untuk reaktor I dan sebesar 62,04% untuk reaktor II; untuk parameter TSS sebesar 95,5% untuk reaktor I dan sebesar 92,4% untuk reaktor II; untuk parameter BOD sebesar 86,9% untuk reaktor I dan sebesar 69,9 untuk reaktor II. Nilai efluen reaktor memenuhi baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 kelas II.

Kata kunci: constructed wetland, Desa Daraulin, *Scirpus Grossus*, Sungai Citarum, *Typha sp.*

Abstract : The Citarum River is the longest and largest river in West Java province, Indonesia. Every rainy season along the Citarum River in South Bandung area is always flooded, therefore the government makes the normalization of the Citarum River project. But the project was in vain because there is no socialization of the surrounding community so that the river remains in landfills and sewage plants. Daraulin village surrounded by the already polluted Citarum River is estimated to contain several parameters such as polluted BOD, COD, Total Nitrogen, Total Phosphate, as well as TSS. One concept that can be used to be a solution that uses a constructed wetland plants *Typha sp.* and *Scirpus Grossus*. The research was conducted two times running with the fiber media, gravel, and bare soil. Elimination of average efficiency in constructed wetland to 89.7% COD parameter for reactor I and 87.6% for reactor II; to NTK parameters of 31.4% for reactors I and II at 26.4 for the reactor, because nitrite parameters amounting to 90.5% for reactors I and 94.1% for reactor II; parameters for nitrate 94.9% for reactors I and at 84.6% for reactor II; to the parameters of ammonium increased by 142.4% to the reactor I and 121.9% with the reactor II; to the parameters of the total phosphate 72.7% for reactors I and at 62.04% for reactors II; to 95.5% TSS parameters for reactors I and at 92.4% for reactor II; for the parameter

BOD of 86.9% for reactors I and II at 69.9 for the reactors. The reactor effluent meets the standards of quality PP. 82 of 2001 class II.

Key words: *Citarum River, constructed wetlands, Daraulin Village, Scirpus grossus, Typha sp.*

PENDAHULUAN

Sungai Citarum adalah sungai terpanjang dan terbesar di Provinsi Jawa Barat, Indonesia. Sungai ini sejak tahun 2007 menjadi salah satu sungai dengan tingkat pencemaran tertinggi di dunia. Jutaan orang menggantungkan hidupnya dari sungai ini. Sekitar 500 pabrik berdiri di sekitar alirannya dan tiga waduk PLTA dibangun di alirannya.

Keadaan lingkungan sekitar Sungai Citarum telah banyak berubah sejak pertengahan tahun 1980-an. Industrialisasi yang pesat di kawasan sekitar sungai ini sejak akhir 1980-an telah menyebabkan menumpuknya sampah buangan pabrik-pabrik di sungai ini.

Setiap musim hujan di sepanjang Sungai Citarum di wilayah Bandung Selatan selalu dilanda banjir, oleh karena itu pemerintah membuat proyek normalisasi Sungai Citarum dengan mengeruk dan melebarkan sungai bahkan meluruskan alur sungai yang berkelok. Tetapi hasil proyek itu sia-sia karena sejak itu tidak ada sosialisasi terhadap masyarakat sekitar sehingga sungai tetap menjadi tempat pembuangan sampah bahkan limbah pabrik pun mengalir ke sungai Citarum.

Daerah yang dilalui oleh sungai ini salah satunya yaitu kampung Daraulin yang terletak di Desa Nanjung-Kecamatan Margaasih, Bandung. Kampung Daraulin terdiri dari 2 RW yaitu RW 06 dan 07 yang masing-masing RW terdiri dari 6 RT. Kampung Daraulin dibatasi oleh bagian Sungai Citarum yang berkelok maupun Sungai Citarum yang sudah diluruskan. Bagian Sungai Citarum yang berkelok saat ini sudah tidak berfungsi lagi karena sudah ditutup oleh pemerintah, sehingga pada bagian tersebut air hanya menggenang dan sudah tidak mengalir lagi. Air tersebut sering digunakan warga untuk kegiatan rumah tangga yaitu seperti mencuci pakaian, piring kotor dan lain sebagainya. Selain itu sebagian buangan septic tank dari warga dibuang ke bagian sungai yang berkelok tersebut. Hal ini menyebabkan lingkungan perairan dan sekitarnya menjadi tercemar.

Kampung Daraulin dikelilingi oleh Sungai Citarum yang sudah tercemar yang diperkirakan mengandung beberapa parameter tercemar seperti BOD, COD, Total Nitrogen, Total Fosfat, serta TSS. Maka diperlukan suatu solusi untuk memulihkan sumber daya lingkungan di sana. Salah satu konsep yang dapat digunakan adalah ekoteknologi, yaitu menggunakan constructed wetland yang melibatkan vegetasi, media, dan mikroorganisme dalam mengolah air sungai yang tercemar.

Constructed wetland dirancang dan dibuat oleh manusia yang menggunakan tanaman akuatik (tanaman reed yang paling sering digunakan) dan bertujuan untuk mengolah air buangan yang akan dibuang ke badan air. Constructed wetland mempurifikasi air dengan menyingkahkan zat organik (BOD), mengoksidasi ammonia, menurunkan kadar nitrogen dan fosfat (Zhen, 2002).

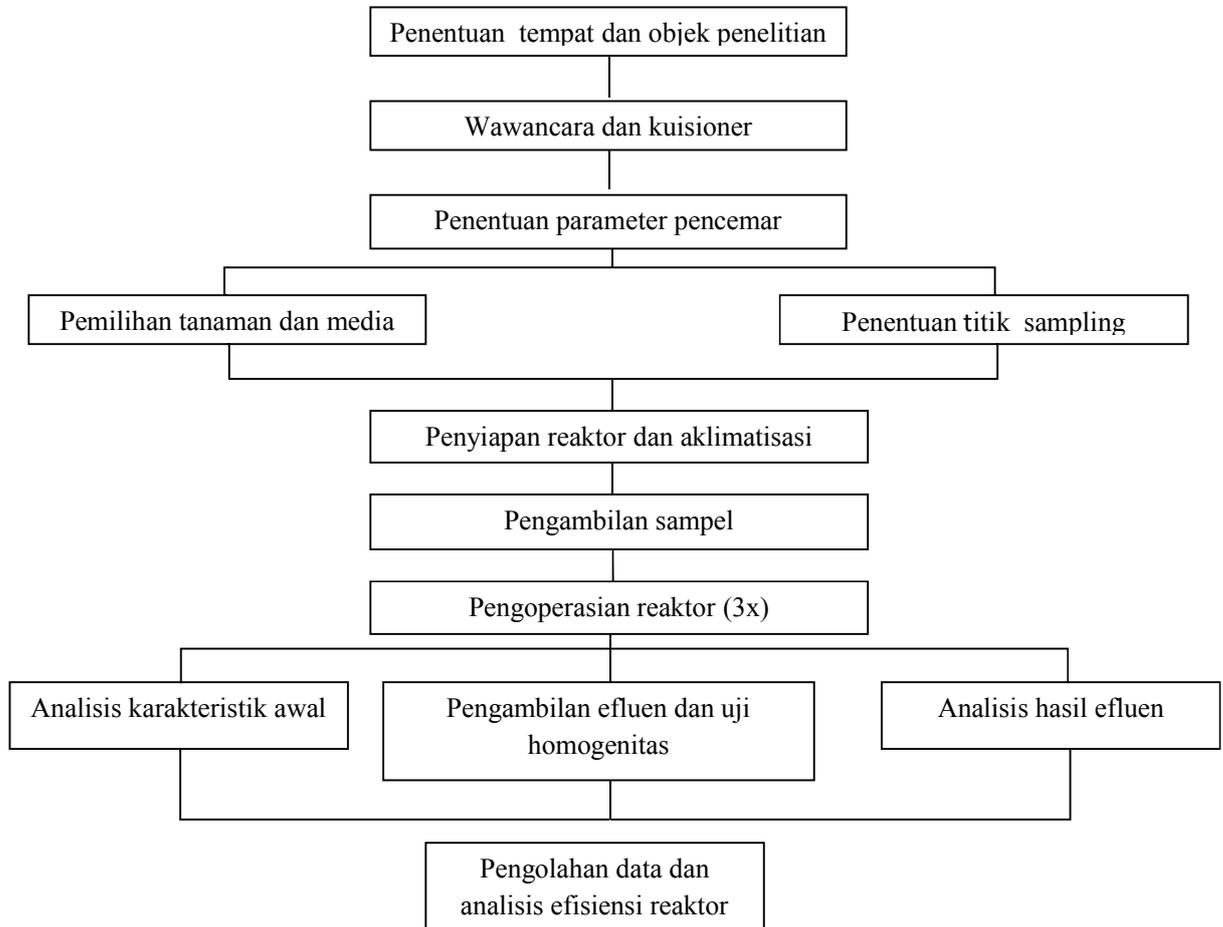
Constructed wetland diklasifikasikan berdasarkan alirannya menjadi dua tipe yaitu horizontal flow system (HFS) dan vertical flow system (VFS). HFS mempunyai dua tipe yaitu surface flow (SF) dan Sub-surface Flow sistem (SSF). SSF wetland atau sering juga disebut vegetated submerged bed atau microbial rock plant filter merupakan sistem yang paling sesuai untuk diterapkan untuk mengolah air limbah yang memiliki kondisi aliran seragam. Komponen constructed wetland adalah media dan vegetasi. Media pada constructed wetland berfungsi sebagai filter untuk menghilangkan solid di dalam air limbah, sebagai tempat menempelnya bakteri, dan juga sebagai tempat tumbuh tanaman (Putri, 2010).

Beberapa jenis tanaman telah menunjukkan kemampuannya dalam membantu menyingkahkan polutan pada air limbah. *Typha sp.* dan *Scirpus grossus* adalah salah satu contoh tanaman yang baik dari spesies rawa yang efektif menyingkahkan nutrien.

METODOLOGI

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Reaktor *constructed wetland* terletak di Teknik Lingkungan, analisis, dan pengujian sampel dan efluen reaktor dilakukan di Laboratorium Penelitian Kualitas Air Teknik Lingkungan. Penelitian dilaksanakan bulan Mei-Juli 2011. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**:



Gambar 1. Diagram alir metodologi penelitian

Penentuan Parameter Pencemar

Parameter pencemar yang diperiksa didapatkan dari hasil wawancara dan kuisisioner langsung kepada warga Desa Daraulin. Dari wawancara dan kuisisioner didapatkan bahwa sekitar 20% dari total warga membuang air limbah domestik langsung ke sungai, sehingga didapatkan parameter yang diperiksa BOD, COD, NTK, nitrit, nitrat, ammonium, total fosfat, dan TSS.

Pemilihan Tanaman dan Media

Tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah *Scirpus grossus* dan *Typha latifolia*. Alasan pemilihan tanaman memiliki potensi produksi dan daya serap hara yang tinggi, penyebarannya luas, tumbuh pada daerah yang disinari matahari sehingga cocok dengan iklim Indonesia, dan toleran terhadap berbagai macam kondisi lingkungan.

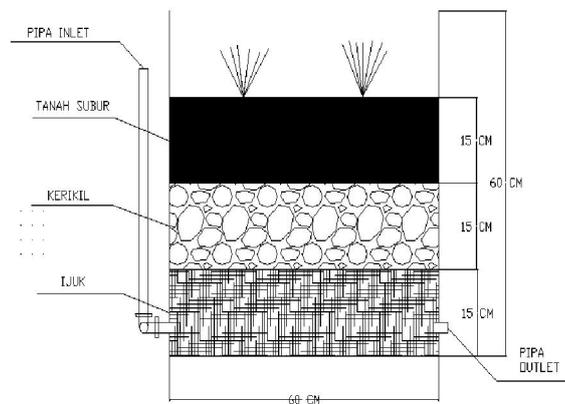
Media yang digunakan terdiri dari ijuk sebagai unit penyaring atau filtrasi, kerikil sebagai media tumbuh mikroorganisme disamping sebagai filter. Pada bagian atas reaktor media yang digunakan adalah tanah lembang.

Penentuan Titik Sampling

Metode sampling yang dipakai adalah *composite sample*, dari sungai sepanjang 3 kilometer dibagi menjadi 8 titik pengambilan sampel air yang menggambarkan kualitas air sungai secara keseluruhan. Alat yang digunakan saat sampling yaitu pH meter dan DO meter.

Reaktor *Constructed Wetland*

Pada penelitian ini digunakan 2 reaktor *constructed wetland* dengan jenis aliran *horizontal subsurface flow* (HSF) dengan tanaman *Scirpus grossus* dan *Typha latifolia* dengan media ijuk, kerikil, dan tanah. Bahan reaktor ini adalah bahan *flexy glass*, dengan ukuran 120x50x60, dengan ketinggian masing-masing media 15 cm yang terlihat pada **Gambar 2**. Sepanjang reaktor dipasang 3 buah *perforated pipe* dengan jarak 40 cm untuk mengecek homogenitas penyisihan *wetland*.



Gambar 2. Potongan reaktor

Pengoperasian Reaktor

Sistem *constructed wetland* yang digunakan pada penelitian ini adalah *batch*, dimana limbah akan dimasukkan pada hari pertama *running* dan dilakukan pengambilan sampel setiap hari untuk melihat penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) sampai penurunannya pada kondisi stabil/*steady*, lalu dilakukan pengambilan sampel pada hari pertama *running* (H 0) dan hari terakhir dimana penurunan COD sudah stabil. Pada penelitian ini dilakukan 2 kali percobaan atau *running* dengan nilai beban yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

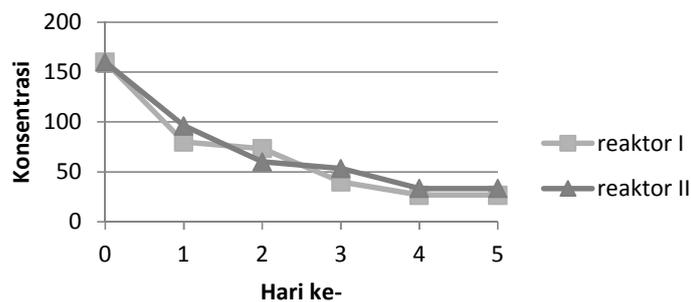
Pemeriksaan parameter limbah dilakukan setelah reaktor dan tanaman mengalami aklimatisasi yang bertujuan untuk membuat media dalam reaktor jenuh serta tanaman dan mikroorganisme pun telah beradaptasi. Pada **Tabel 1** ditampilkan data konsentrasi influen dan efluen dari *running* pertama dan kedua untuk setiap parameter, data efluen pada kedua *running* diambil pada hari ke-5 saat penurunan COD telah stabil. Karakteristik sampel awal influen mempunyai nilai pH 8,28, temperature 25,7 °C, dan DO sebesar 6,74.

Tabel 1. Data konsentrasi dan efisiensi setiap parameter

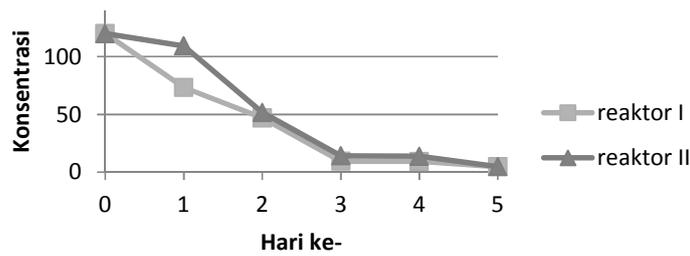
Parameter	Reaktor	Running 1			Running 2		
		Influen (mg/l)	efluen (mg/l)	efisiensi (%)	Influen (mg/l)	efluen (mg/l)	efisiensi (%)
Nitrit	I	0,03	0,0024	93,04	0,06	0,007	88,05
	II		0,0012	96,52		0,0048	91,68
Nitrat	I	0,39	-0,43	100	0,54	0,0541	89,94
	II		0,12	69,37		0,0007	99,86
Ammonium	I	2,87	7,18	-150,37	2,81	6,59	-134,41
	II		6,32	-120,5		6,27	-123,32
Phosfat	I	0,29	0,12	58,67	0,24	0,032	86,71
	II		0,19	32		0,019	92,08
NTK	I	5,6	4,48	20	4,90	2,8	42,86
	II		5,04	10		2,8	42,86
TSS	I	290	12	95,86	242	12	95,04
	II		20	93,1		20	91,74
BOD 3	I	8,52	1,30	84,7	9,68	0,92	90,52
	II		1,80	78,9		2,07	78,62
BOD 5	I	7,90	1,07	86,5	5,81	0,75	87,07
	II		1,63	79,4		3,02	48,00
BOD 7	I	7,14	1,17	83,6	2,97	0,36	87,83
	II		1,66	76,7		2,00	32,61
COD	I	160	26,67	83,33	120	4,71	96,08
	II		33,33	79,17		4,71	96,08

Penyisihan COD

Nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) menunjukkan kadar organik dalam air sampel yang dapat dioksidasi secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis. Pada **Gambar 3** dapat dilihat penyisihan COD masing-masing reaktor untuk *running 1* dan untuk *running 2* pada **Gambar 4**.

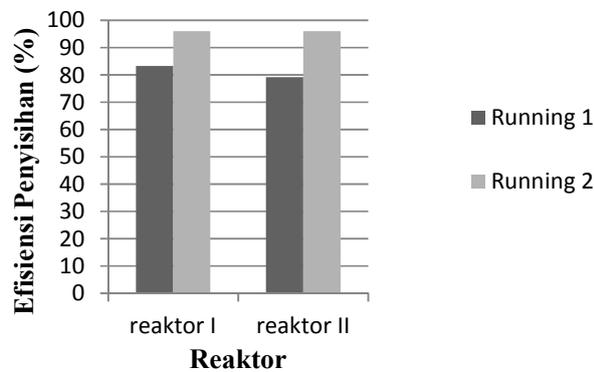


Gambar 3 Penyisihan COD *running 1*



Gambar 4. Penyisihan COD *running* 2

Zat organik yang terdapat dalam air sungai ini tersisihkan oleh adanya tanaman dan media di reaktor *wetland*. Kondisi penyisihan COD pada *running* 1 dan 2 mulai stabil pada hari ke-4 dan 5, oleh karena itu pemeriksaan efluen dilakukan pada hari tersebut. Efisiensi penyisihan COD pada *running* 1 dan 2 dapat dilihat pada **Gambar 4**.

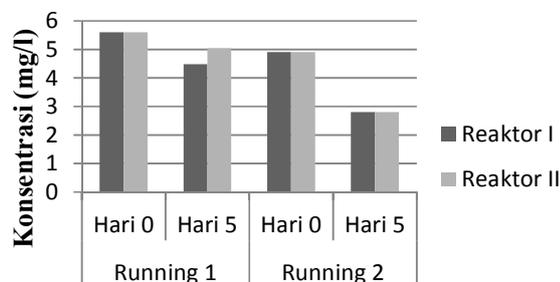


Gambar 5. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan COD *running* 1 dan 2

Dari diagram di atas efisiensi penyisihan paling tinggi pada reaktor I dan II pada *running* kedua yaitu sebesar 96.08 %. Jika dilihat dari *running* 1 dan 2, kedua reaktor stabil dalam proses penyisihan COD, perbedaannya tidak terlalu jauh antara *running* 1 dan 2.

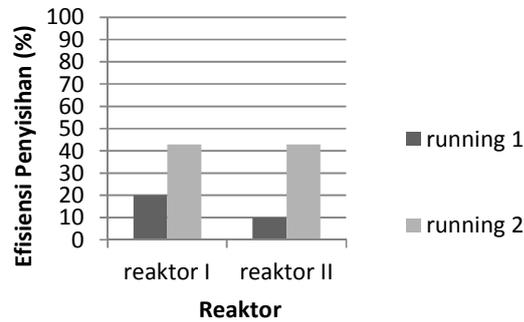
Penyisihan NTK

Mekanisme penyisihan nitrogen pada *constructed wetland* dapat berupa ammonifikasi, nitrifikasi atau denitrifikasi, penyerapan oleh tanaman dan adsorpsi oleh media tanaman. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa penyisihan pencemar terbanyak berada di proses nitrifikasi atau denitrifikasi (Vymazal et al., 1998 dalam van Bruggen et al., 2008). Selain itu penyisihan nitrogen juga disebabkan adanya proses sedimentasi, proses sedimentasi dipengaruhi oleh keberadaan akar dan tanaman pada *wetland*. Pada **Gambar 6** dapat dilihat penyisihan total NTK



Gambar 6. Penyisihan konsentrasi NTK *running* 1 dan 2

Perbandingan efisiensi setiap reaktor untuk *running* 1 dan 2 diperlihatkan pada **Gambar 7**.

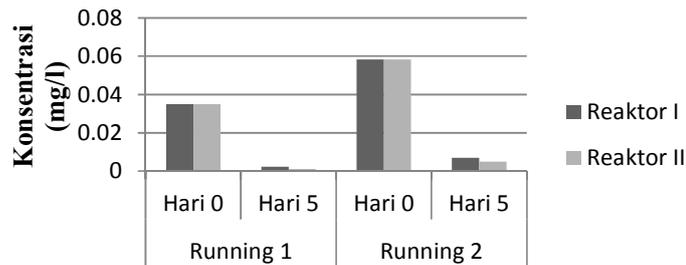


Gambar 7. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan NTK *running* 1 dan 2

Dari diagram efisiensi di atas didapatkan efisiensi penyisihan yang tidak terlalu besar. Nilai efisiensi tertinggi yaitu 40% untuk kedua jenis tanaman pada percobaan *running* ke-2.

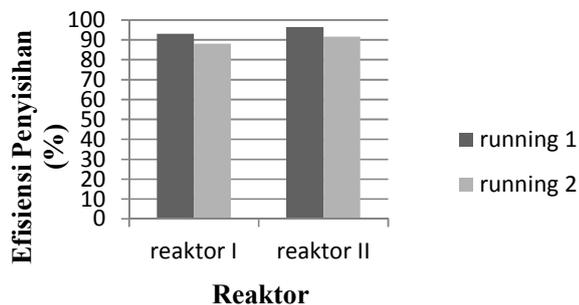
Penyisihan Nitrit

Penyisihan nitrit terjadi karena adanya *Nitrobacter* yang merubah nitrit (NO_2) menjadi nitrat (NO_3) yang merupakan salah satu dari proses nitrifikasi. Pada **Gambar 8** diperlihatkan penyisihan dari parameter nitrit.



Gambar 8. Penyisihan konsentrasi nitrit *running* 1 dan 2

Perbandingan efisiensi untuk setiap reaktor pada *running* 1 dan 2 diperlihatkan pada **Gambar 9**.

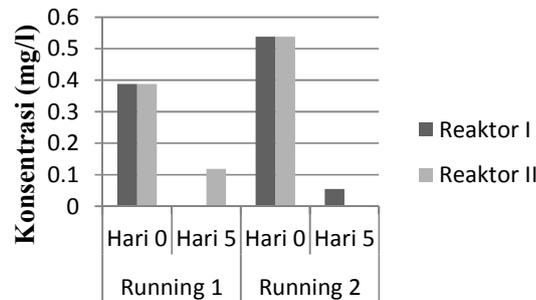


Gambar 9. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan nitrit *running* 1 dan 2

Dari diagram efisiensi penyisihan di atas, dapat dilihat rentang penyisihan berada di antara 85%-95. Penggunaan kedua tanaman ini sangat baik dalam menyisihkan nitrit. Nilai efisiensi tertinggi yaitu 96.5% pada reaktor dua saat percobaan *running* ke-2.

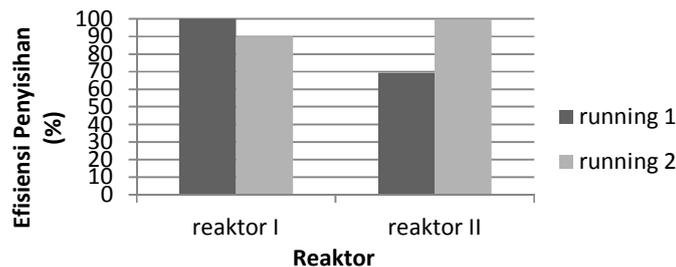
Penyisihan Nitrat

Nitrat merupakan salah satu dari kelompok nitrogen yang dapat teroksidasi, yang merupakan hasil akhir dari nitrifikasi yang akan diangkut oleh tanaman atau akan terdifusi menuju akar yang akan dikonversi menjadi N_2 dan N_2O pada proses denitrifikasi. Pada **Gambar 10** diperlihatkan penyisihan dari parameter nitrat.



Gambar 10. Penyisihan konsentrasi nitrat *running* 1 dan 2

Perbandingan efisiensi penyisihan nitrat untuk setiap reaktor pada *running* 1 dan 2 diperlihatkan pada **Gambar 11**.

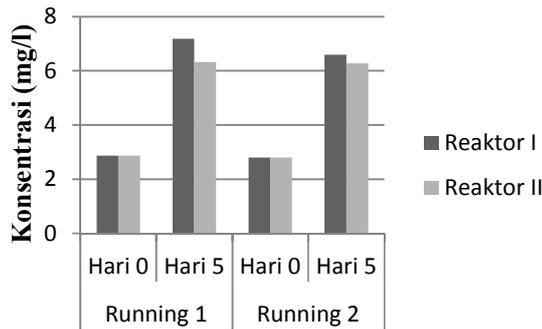


Gambar 11. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan nitrat *running* 1 dan 2

Dari diagram efisiensi penyisihan di atas, dapat dilihat penyisihan nitrat lebih dari 50%. Penggunaan kedua tanaman ini sangat baik dalam menyisihkan nitrat. Nilai efisiensi tertinggi yaitu 100% terjadi dua kali pada reaktor I saat percobaan *running* ke-1 dan reaktor II saat percobaan *running* ke-2.

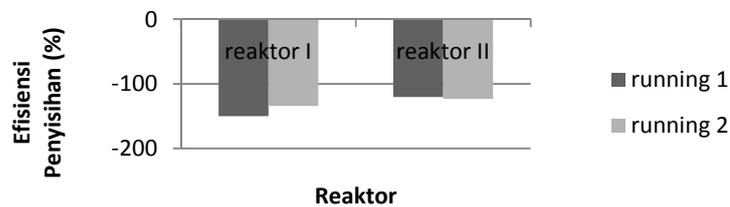
Penyisihan Ammonium

Ammonium dapat tersisihkan jika terjadi proses nitrifikasi, sedangkan syarat terjadinya nitrifikasi adalah terdapat lapisan oksigen hasil difusi dari tanaman pada akar (*aerobic*) dan adanya bakteri pengkonversi ammonium menjadi nitrit yaitu bakteri *Nitrosomonas* (Sim, 2003). Pada **Gambar 12** diperlihatkan nilai penyisihan Ammonium.



Gambar 12. Penyisihan konsentrasi ammonium *running* 1 dan 2

Perbandingan efisiensi penyisihan untuk setiap reaktor pada *running* 1 dan 2 diperlihatkan pada **Gambar 13**.

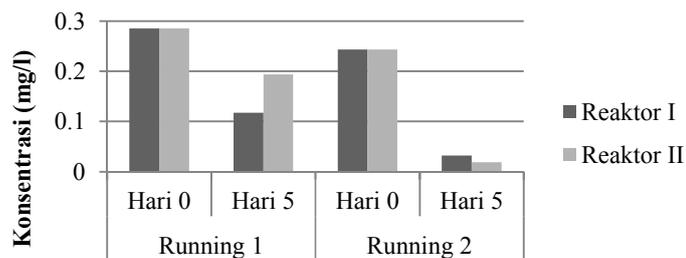


Gambar 13. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan ammonium *running* 1 dan 2

Efisiensi yang didapatkan negatif, karena pada kedua reaktor di setiap *running* mengalami peningkatan. Hal tersebut untuk sementara diduga karena tidak tercapainya syarat nitrifikasi yaitu tidak adanya lapisan oksigen pada akar dan adanya bakteri *Nitrosomonas*.

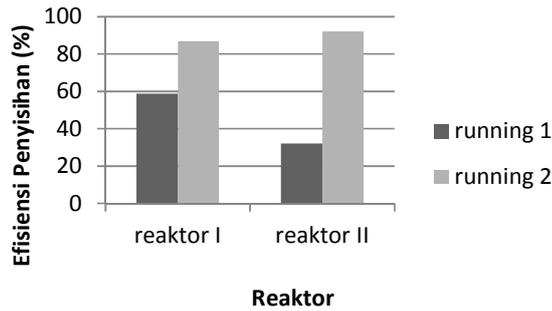
Penyisihan Fosfat

Penyisihan total fosfat dapat melalui proses adsorpsi dan desorpsi, penyerapan ke tanah, penyerapan oleh tanaman dan mikroba, fragmentasi dan *leaching*, mineralisasi, dan sedimentasi (Kropfelova, 2008). Pada **Gambar 14** dapat dilihat diagram penyisihan total fosfat untuk kedua reaktor pada dua kali *running*.



Gambar 14. Diagram penyisihan konsentrasi total fosfat *running* 1 dan 2

Perbandingan efisiensi penyisihan total fosfat untuk setiap reaktor pada *running* 1 dan 2 diperlihatkan pada **Gambar 15**.

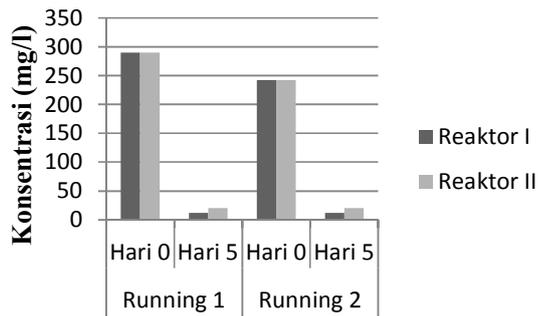


Gambar 15. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan total fosfat *running* 1 dan 2

Dari diagram di atas, dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan total fosfat di setiap reaktor pada setiap *running* beragam. Efisiensi penyisihan tertinggi yang dapat dicapai sebesar 92.08 % dan yang terendah sebesar 32%.

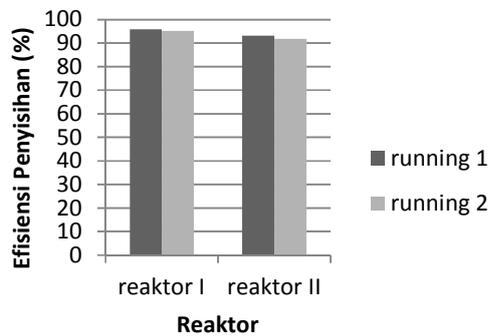
Penyisihan TSS

Penyisihan *suspended solid* sangat bergantung pada media yang digunakan yang akan berpengaruh pada besarnya konduktivitas hidrolis. Konduktivitas hidrolis tidak boleh terlalu besar dan kecil, jadi pemilihan media sangat penting agar air dapat mengalir sempurna dan memberikan kesempatan pada *suspended solid* untuk mengendap. Pada **Gambar 16** dapat dilihat diagram penyisihan TSS untuk kedua reaktor pada dua kali *running* reaktor.



Gambar 16. Diagram penyisihan konsentrasi TSS *running* 1 dan 2

Perbandingan efisiensi penyisihan TSS untuk setiap reaktor pada *running* 1 dan 2 diperlihatkan pada **Gambar 17**.

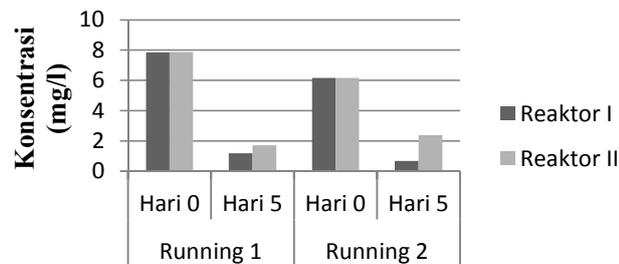


Gambar 17. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan TSS *running* 1 dan 2

Efisiensi penyisihan di semua reaktor pada setiap *running* sangatlah baik dengan rata-rata efisiensi sebesar 93% . Hal ini dikarenakan ijuk merupakan unit filtrasi yang baik dan kerikil dapat memperlambat aliran sehingga *solid* dapat mengendap.

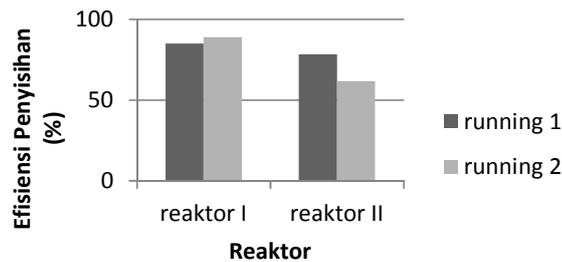
Penyisihan BOD

Penurunan konsentrasi bahan organik dalam sistem *wetlands* terjadi karena adanya mekanisme aktivitas mikroorganisme dan tanaman, melalui proses oksidasi oleh bakteri aerob yang tumbuh disekitar *rhizosphere* tanaman maupun kehadiran bakteri *heterotrof* didalam air limbah. Pada **Gambar 18** dapat dilihat diagram penyisihan BOD untuk kedua reaktor pada dua kali *running* reaktor.



Gambar 18. Diagram penyisihan konsentrasi BOD *running* 1 dan 2

Perbandingan efisiensi penyisihan BOD untuk setiap reaktor pada *running* 1 dan 2 diperlihatkan pada **Gambar 19**.



Gambar 19. Diagram perbandingan efisiensi penyisihan BOD *running* 1 dan 2

Efisiensi penyisihan BOD berkisaran 60%-85%, penyisihan tertinggi pada reaktor I saat *running* kedua sebesar 89%. Angka tersebut merupakan rata-rata dari perhitungan BOD dengan angka pengencer 3, 5, dan 7.

KESIMPULAN

Efisiensi penyisihan rata-rata pada constructed wetland untuk parameter COD adalah 89,7% untuk reaktor I dan 87.6% untuk reaktor II; untuk parameter NTK sebesar 31,4% untuk reaktor I dan sebesar 26,4% untuk reaktor II; untuk parameter nitrit adalah sebesar 90,5% untuk reaktor I dan sebesar 94,1% untuk reaktor II; untuk parameter nitrat sebesar 94,9% untuk reaktor I dan sebesar 84.6% untuk reaktor II; untuk parameter ammonium mengalami kenaikan sebesar 142,4% untuk reaktor I dan sebesar 121,9% untuk reaktor II ; untuk parameter total fosfat sebesar 72,7% untuk reaktor I dan sebesar 62,04% untuk reaktor II; untuk parameter TSS sebesar 95,5% untuk reaktor I dan sebesar 92,4% untuk reaktor II; untuk parameter BOD sebesar 86,9% untuk reaktor I dan sebesar 69,9 untuk reaktor II. Nilai efluen reaktor sangat baik karena sudah berada di bawah baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk kelas II yang digunakan sebagai air baku untuk prasarana /sarana rekreasi, pembudidayaan ikan air tawar, air untuk mengairi

pertanaman. Hasil tersebut menunjukkan bahwa constructed wetland dapat diterapkan sebagai sarana perbaikan kualitas lingkungan di sodetan Sungai Citarum.

DAFTAR PUSTAKA

- Curia, Ana C., Koppe, Jair C., Costa, João F. C. L., Feris, Liliana A., Gerber, Wagner David. 2010. *Application of Pilot-Scale-Constructed Wetland as Tertiary Treatment System of Wastewater for Phosphorus and Nitrogen Removal*. Journal Water Air Soil Pollut DOI 10.1007/s1 1270-010-0629-0. Springer Science+Business Media B.V. 2010
- Mara, Duncan. 2003. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London: EarthScan
- Putri, Anggia Retno. 2010. *Constructed Wetland Sebagai Alternatif Pengolahan Effluen Tangki Septik Dengan Aliran Bawah Permukaan Menggunakan Tanaman *Pontederia cordata**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Sim, C.H. 2003. *The Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Wetland International: Malaysia Office. 24 pp.
- Van Bruggen, J.J.A. 2008. *A Constructed Wetland for Wastewater Treatment Emphasis on Optimization of Nitrogen Removal*. Delft: The Watermill Working Paper Series
- Vymazal, Jan. 2005. *Horizontal Sub-surface Flow and Hybrid Constructed Wetlands System for Wastewater Treatment*. Durham: Journal Ecological Engineering, Vol.25, Issue 5, pp 478-490
- Kropvelofa, Lenka et. al. 2008. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Springer Science + Business Media B.V.
- Zhen. 2002. *Ecological Engineering Techniques For Lake Restoration In Japan*.