

**APLIKASI SISTEM *VERTICAL* DAN *HORIZONTAL SUB SURFACE FLOW WETLAND*
DALAM PENGOLAHAN KEMBALI *EFFLUENT IPAL*
PERUSAHAAN OBAT DAN OBAT TRADISIONAL**

***VERTICAL AND HORIZONTAL SUB SURFACE FLOW WETLAND SYSTEM APPLICATION
ON MEDICINE AND TRADITIONAL MEDICINE FACTORY AS EFFLUENT WWT RETREATMENT***

Nikola Fibrian F, Hena Rya Sunoko, Munifatul Izzati

Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro

Jalan Imam Bardjo No 5 Semarang

Fakultas MIPA Program Studi Biologi Universitas Diponegoro

e-mail : nikola.fibrianfirstikesuma@gmail.com

Naskah diterima tanggal 27 Februari 2014, disetujui tanggal 6 Mei 2014

ABSTRACT

This research conducted to treat the WWTP effluent of medicine and traditional medicine company that has met the quality standards for water bodies to dispose of. The treatment is done to improve the quality of the WWTP effluent water in order to be classified as class III refer to Regulation No. 82 Year 2001. Re-treatment of WWTP effluent was conducted using artificial wetlands method that differs from the used prior treatment viz. WWTP which consists of physical and chemical treatment. The aims of the study are to assess the quality improvement of the WWTP effluent and its efficiency which has been treated using the vertical subsurface flow wetland (VSSF Wetland) and horizontal subsurface flow wetland (HSSF Wetland).

*The selected parameters i.e. BOD, COD, nitrite and ammonia considering surpass the class III of water quality standards. Research conducted by the lab-scale experiments were performed using two similar sizes of reactors. The reactor was filled with planting medium of sand and gravel, as well as the use of Mendong plants (*Frimbistylis globulosa*). Sampling conducted over fourteen days where the sample quality testing performed seven times.*

Result indicated that the effluent quality of recovered wastewater which have been treated by VSSF Wetland and HSSF Wetland are superiorly compared with before treatment is performed. VSSF Wetland is effectively able to degrade the value of BOD, COD, nitrite and ammonia approximately amounted by 89.38 %, 91.78 %, 54.84 % and 71.58 %, respectively; while HSSF Wetland approximately amounted by 93.56%, 94.64%, 74.19% and 59.93%, respectively. The statistical results represented no differences of recovered wastewater effluent which treated using VSSF Wetland and HSSF Wetland on variables of BOD, COD, nitrite and ammonia.

Keywords : wastewater effluent, efficiency, VSSF and HSSF Wetland.

ABSTRAK

Penelitian ini mengolah effluent IPAL perusahaan obat dan obat tradisional yang telah memenuhi baku mutu untuk di buang ke badan perairan. Pengolahan dilakukan untuk meningkatkan kualitas effluent IPAL agar dapat memenuhi klasifikasi air kelas III pada PP No 82 Tahun 2001. Pengolahan kembali effluent IPAL ini dilakukan dengan menggunakan metode yang berbeda yakni metode lahan basah buatan (wetland) karena pengolahan sebelumnya telah menggunakan IPAL dengan metode pengolahan secara fisika dan kimia. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengkaji peningkatan kualitas effluent IPAL perusahaan obat yang telah diolah dengan menggunakan metode lahan basah buatan aliran bawah permukaan vertikal (VSSF Wetland) dan lahan basah buatan aliran bawah permukaan horizontal (HSSF Wetland) serta mengkaji efisiensinya.

Parameter-parameter air limbah yang digunakan adalah BOD, COD, nitrit dan amonia yang masih melebihi baku mutu air kelas III. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan skala lab yang dilakukan menggunakan dua buah reaktor yang berukuran sama. Reaktor diisi dengan media tanam berupa pasir dan kerikil, serta menggunakan tanaman mendong (*Frimbistylis globulosa*). Pengambilan sampel dilakukan selama empat belas hari dimana pengujian kualitas sampel tersebut dilakukan sebanyak tujuh kali

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas effluent setelah diolah menggunakan VSSF maupun HSSF Wetland lebih baik daripada sebelum dilakukan pengolahan menggunakan kedua metode tersebut. VSSF Wetland secara efektif dapat menurunkan BOD, COD, nitrit dan amonia dengan

efisiensi berturut-turut sebesar 89.38%, 91.78%, 54.84% dan 71.58%; sedangkan efisiensi HSSF Wetland berturut-turut 93.56%, 94.64%, 74.19% dan 59.93%. Hasil uji statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan kualitas effluent yang diolah menggunakan sistem VSSF dan HSSF Wetland untuk variabel nitrit, amonia, COD dan BOD.

Kata kunci : effluent IPAL, efisiensi, VSSF dan HSSF Wetland.

PENDAHULUAN

Metode pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air dalam sistem *constructed wetland* (lahan basah buatan) telah banyak digunakan di beberapa Negara (Vymazal et al, 2009). Vymazal telah melakukan *review* pada lebih dari 400 sistem *Constructed wetlands* dari 36 negara di dunia diantaranya Amerika Serikat, Jerman, Perancis, Tiongkok dsb. Hasilnya, sistem *constructed wetland* berhasil digunakan untuk pengolahan sekunder maupun tersier. Akan tetapi metode ini belum begitu populer di negara berkembang karena kajian dan publikasi mengenai metode ini masih kurang. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa kurang berkembangnya penggunaan teknologi lahan basah buatan untuk pengolahan limbah cair di negara berkembang karena kurangnya pengetahuan dan kurangnya pengalaman dalam desain dan manajemen dari teknologi ini (UN-HABITAT, 2008). Penelitian yang dilakukan Kurniade (2011) menunjukkan bahwa penggunaan sistem *wetland* di Indonesia sebagai alternatif dari teknologi konvensional sangat menjanjikan. Karena sistem ini efektif, sederhana, berumur panjang, pemeliharaan mudah dan menggunakan bahan-bahan lokal yang mudah didapat.

Keuntungan dari penggunaan lahan basah buatan untuk mengolah air limbah adalah sebagai berikut:

1. Pembuatannya membutuhkan biaya yang lebih murah dibanding dengan sistem pengolahan yang lain
2. Pemanfaatan proses alami
3. Konstruksinya sederhana (dapat dibangun dengan menggunakan bahan-bahan lokal)
4. Sistem pengoperasian dan pemeliharaan yang mudah
5. Efisiensi biayanya efektif (biaya pembuatan dan operasi murah)
6. Prosesnya stabil.

Sedangkan batasan dari sistem lahan basah buatan ini adalah kriteria desain yang belum dikembangkan untuk pengolahan air limbah yang berbeda dan di daerah dengan iklim yang berbeda (Davis, 1994). Penelitian menggunakan metode *VSSF Wetland* dan *HSSF Wetland* dengan menggunakan tanaman mendong (*Fimbristylis globulosa*) untuk mengolah *effluent* air limbah pabrik kertas yang dilakukan Purwati (2006) dapat menurunkan konsentrasi pencemar air limbah TSS, BOD, COD, lignin dan

Na dengan efisiensi yang cukup tinggi. Menurut Purwati, mendong dapat tumbuh di tanah basah, mempunyai akar serabut yang sangat lebat dan cara penanamannya mudah. Menurut Sohair (2012) tanaman dengan akar yang lebat dapat menahan limbah cair lebih lama sehingga dapat meningkatkan efisiensi.

Ada beberapa tipe dari sistem lahan basah buatan, di antaranya *Sub Surface Flow Wetland*, *Surface Flow Wetland* dan *Hybrid Flow Wetland*. Di antara ketiga tipe tersebut, pada penelitian ini dipilih *Sub Surface Flow Wetland* karena memiliki keunggulan kebutuhan lahan yang lebih kecil daripada jenis lahan buatan yang lain. Selain itu lahan basah tipe ini tidak ramah terhadap nyamuk karena tidak ada genangan air pada permukaannya. *Sub Surface Flow Wetland* sendiri ada dua macam, yaitu *Vertical Sub Surface Flow Wetland* dan *Horizontal Sub Surface Flow Wetland* (UN-HABITAT: 2008).

Penelitian dengan menggunakan sistem *wetland* untuk mengolah *effluent* limbah industri obat dan obat tradisional belum pernah dilakukan sebelumnya. Dengan mempertimbangkan keuntungan dari sistem *Sub Surface Flow Wetland*, maka dilakukan penelitian dengan menggunakan *Vertical Sub Surface Flow Wetland* dan *Horizontal Sub Surface Flow Wetland* untuk mengolah *effluent* IPAL perusahaan obat dan obat tradisional. Dalam mengolah limbah cairnya, perusahaan ini menggunakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Limbah cair yang diolah merupakan limbah cair yang berasal dari masing-masing unit produksi maupun non produksi. IPAL yang digunakan untuk mengolah limbah cair terdiri bak equalisasi, unit koagulasi, flokulasi, sedimentasi 1, aerator, sedimentasi 2, filtrasi dan outlet.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji peningkatan kualitas *effluent* IPAL perusahaan obat yang telah diolah dengan menggunakan sistem *Vertical* dan *Horizontal Sub Surface Flow Wetland* dan mengkaji efisiensi kedua sistem *sub surface wetland* yang lebih efisien dalam mengolah *effluent* IPAL perusahaan obat. *Effluent* IPAL yang diolah menggunakan *VSSF* dan *HSSF* diharapkan dapat dimanfaatkan kembali sesuai dengan

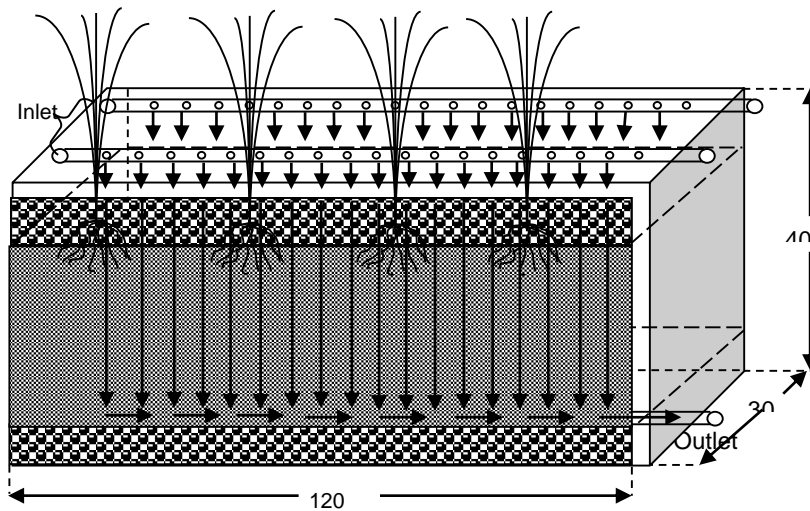
peruntukan pada kualitas air kelas III PP No 82 Tahun 2001.

Penggunaan kembali limbah cair adalah salah satu usaha konservasi air dan merupakan alat yang sangat penting untuk meminimalkan masalah kelangkaan air di daerah perkotaan dan industri. Pemahaman penuh dari semua proses yang ada dalam suatu industri merupakan langkah penting untuk mengurangi konsumsi air dari alat-alat yang digunakan, seperti sebagai perubahan proses operasional dan kontrol yang efektif dari kegiatan penggunaan air (Matsurama, 2007).

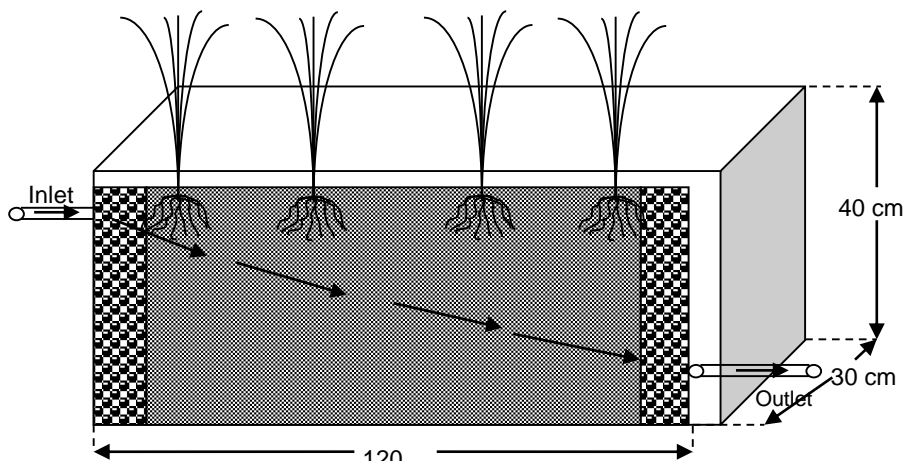
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan mengolah *effluent* IPAL salah satu perusahaan obat dan obat tradisional yang ada di Semarang dengan

menggunakan *vertical sub surface flow wetland* (VSSF *Wetland*) dan *horizontal sub surface flow wetland* (HSSF *Wetland*). Penelitian ini adalah penelitian eksperimen skala laboratorium dengan *pre* dan *post test* yang menggunakan dua buah reaktor *batch*. Reaktor pertama digunakan untuk sistem VSSF *Wetland* dan reaktor yang lain untuk HSSF *Wetland*. Kedua reaktor berukuran sama yaitu 120 cm x 30 cm x 40 cm dan terbuat dari rangka kayu dan triplek yang dilapisi dengan plastik. Sistem *wetland* menggunakan tanaman Mendong (*Fimbristylis globulosa*) dan media tanam berupa pasir dan kerikil (*split*) yang disusun sesuai dengan sistem *wetland* yang digunakan. Penelitian dilakukan selama empat belas hari dan dilakukan pengujian kualitas sampel sebanyak tujuh kali. Adapun desain reaktor yang digunakan ditunjukkan oleh gambar 1 dan gambar 2 berikut ini.



Gambar 1. Desain reaktor *Vertical Sub Surface Flow Wetland* tampak dari samping.



Gambar 2. Desain reaktor *Horizontal Sub Surface Flow Wetland* tampak dari samping.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji pendahuluan dilakukan pada tanggal 15 Januari 2013, hasil uji tersebut digunakan untuk menentukan parameter-parameter air limbah yang akan digunakan pada penelitian. Pengujian sampel mengacu pada PP No 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air

dan Pengendalian Pencemaran Air karena pada PP tersebut terdapat empat kelas air sesuai dengan peruntukannya. Hasil penelitian dibandingkan dengan empat kelas air tersebut sehingga dapat diketahui peruntukannya. Adapun hasil uji pendahuluan dan hasil eksperimen adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil uji pendahuluan *effluent* IPAL Perusahaan obat tanggal 15 Januari 2013.

| No | Parameter | Satuan | Hasil | Kelas 1 | Kelas II | Kelas III | Kelas IV |
|----|--------------------------------|-----------|-------|---------|----------|-----------|----------|
| 1 | Ammonia | mg/l | 4.99 | 0,5 | - | - | - |
| 2 | Nitrit | mg/l | 16.77 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | - |
| 3 | pH | mg/l | 6.78 | 6-9 | 6-9 | 6-9 | 5-9 |
| 4 | Total Zat padat terlarut (TDS) | mg/l | 497 | 1000 | 1000 | 1000 | 2000 |
| 5 | BOD | mg/l | 44.16 | 2 | 3 | 6 | 12 |
| 6 | COD | mg/l | 75.26 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 7 | Fosfat | mg/l | 0.16 | 0,2 | 0,2 | 1 | 5 |
| 8 | Total coliform | Jml/100ml | 3 | 1000 | 5000 | 10000 | 10000 |

Keterangan : kelas 1, 2, 3 dan 4 adalah baku mutu kelas air berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001.

Tabel 2. Hasil Percobaan Penurunan Bahan Pencemar dengan Aplikasi Wetland

| NO | HARI KE- | AMONIA (MG/L) | | NITRIT (MG/L) | | BOD (MG/L) | | COD (MG/L) | |
|------------------|----------|---------------|--------|---------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | | VSSF | HSSF | VSSF | HSSF | VSSF | HSSF | VSSF | HSSF |
| 1 | 0 | 2.403 | 2.403 | 0.31 | 0.31 | 45.84 | 45.84 | 78.48 | 78.48 |
| 2 | 2 | 1.362 | 0.938 | 0.26 | 0.30 | 30.21 | 33.26 | 63.25 | 66.35 |
| 3 | 4 | 1.152 | 0.597 | 0.18 | 0.13 | 19.57 | 25.31 | 47.32 | 44.42 |
| 4 | 7 | 0.926 | 0.535 | 0.17 | 0.11 | 17.78 | 16.69 | 34.42 | 26.87 |
| 5 | 9 | 0.695 | 0.449 | 0.16 | 0.08 | 10.84 | 12.93 | 16.74 | 21.52 |
| 6 | 11 | 0.333 | 0.379 | 0.13 | 0.07 | 9.15 | 8.55 | 10.58 | 13.87 |
| 7 | 14 | 0.683 | 0.963 | 0.14 | 0.08 | 4.87 | 2.95 | 6.45 | 4.21 |
| EFISIENSI | | 71.58% | 59.93% | 54.84% | 74.19% | 89.38% | 93.56% | 91.78% | 94.64% |

Hasil uji pendahuluan ditunjukkan oleh Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut, ammonia hanya mempunyai satu baku mutu kelas 1 dan

konsentrasinya masih melebihi baku mutu. Amonia juga masih melebihi baku mutu baik kelas 1, kelas 2 maupun kelas 3 dengan baku

mutu yang sama. COD melebihi baku mutu kelas 4 dan BOD melebihi baku mutu kelas 3. Maka parameter yang digunakan dalam penelitian adalah BOD, COD, nitrit dan amonia.

Tabel 2 menunjukkan hasil eksperimen, pada masing-masing parameter air limbah dilakukan uji statistik

Tabel 3. Hasil analisis statistik menggunakan SPSS

- **Nitrit**

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|--------|-----------------------------|---|------|------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|--------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| Nitrit | Equal variances assumed | 1.078 | .324 | -.501 | 10 | .627 | -.05500 | .10972 | -.29947 | .18947 |
| | Equal variances not assumed | | | -.501 | 7.826 | .630 | -.05500 | .10972 | -.30900 | .19900 |

- **Amonia**

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|--------|-----------------------------|---|------|------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|--------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| Amonia | Equal variances assumed | .619 | .450 | .344 | 10 | .738 | .12667 | .36772 | -.69266 | .94599 |
| | Equal variances not assumed | | | .344 | 9.649 | .738 | .12667 | .36772 | -.69672 | .95005 |

- **COD**

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|-----|-----------------------------|---|------|------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|--------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| COD | Equal variances assumed | .398 | .542 | -.289 | 10 | .778 | -.02667 | .09218 | -.23206 | .17873 |
| | Equal variances not assumed | | | -.289 | 8.173 | .780 | -.02667 | .09218 | -.23846 | .18513 |

- BOD

Independent Samples Test

| | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|-----------------------------|---|------|------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|--------|
| | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | Lower | Upper |
| BOD Equal variances assumed | .080 | .783 | -.516 | 10 | .617 | -.04500 | .08713 | -.23914 | .14914 |
| Equal variances not assumed | | | -.516 | 9.937 | .617 | -.04500 | .08713 | -.23931 | .14931 |

Uji statistik berupa analisis statistik awal dan analisis statistik akhir. Analisis statistik awal berupa uji normalitas untuk mengetahui sebaran nilai variabel. Uji normalitas yang dilakukan dengan metode Kolmogorof-Smirnov. Pada *VSSF Wetland*, nilai p dari parameter nitrit, amonia, COD dan BOD berturut-turut sebesar 0.992; 0.353; 0.973 dan 0.753 yang lebih besar dari 0.05 sehingga data terdistribusi normal. Pada *HSSF Wetland*, nilai p dari parameter nitrit, amonia, COD dan BOD berturut-turut sebesar 0.872; 0.297; 0.865 dan 0.469 yang lebih besar dari 0.05 sehingga data terdistribusi normal. Karena semua variabel terdistribusi normal, maka analisis statistik akhir digunakan statistik parametrik. Statistik parametrik yang di gunakan adalah *independent sampel t test* karena dua kelompok sampel yang di uji tidak saling berhubungan. Uji *independent sampel t test* dengan membandingkan rata-rata efisiensi dari *VSSF* dan *HSSF Wetland*. Uji statistik ini menggunakan H_0 tidak terdapat perbedaan kualitas *effluent* IPAL perusahaan obat antara pengolahan menggunakan metode *VSSF*

Wetland dengan *HSSF Wetland*. H_0 diterima jika nilai $p > 0.05$ dan ditolak jika nilai $p \leq 0.05$. Berdasarkan tabel 3, nilai p dari parameter nitrit, amonia, COD dan BOD pada metode berturut-turut sebesar 0.627; 0.787; 0.778 dan 0.617 yang lebih besar dari 0.05 sehingga H_0 untuk semua parameter tersebut diterima. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan kualitas *effluent* IPAL PT Phapros antara pengolahan dengan menggunakan *VSSH* dan *HSSF Wetland* untuk parameter BOD, COD, nitrit dan amonia.

Hasil eksperimen pada tabel 2 juga menunjukkan bahwa metode pengolahan *effluent* IPAL perusahaan obat dengan menggunakan *VSSF* dan *HSSF Wetland* dapat menurunkan konsentrasi bahan pencemar air limbah. Ini ditunjukkan dengan Efisiensi penurunan konsentrasi BOD, COD, nitrit dan amonia untuk *VSSF Wetland* berturut-turut sebesar 89.38%, 91.78%, 54.84% dan 71.58%; dan untuk *HSSF Wetland* berturut-turut 93.56%, 94.64%, 74.19% dan 59.93%.

Tabel 4. Perbandingan hasil eksperimen dengan baku mutu kelas III

| No | Variabel | Hasil Eksperimen (mg/l) | Baku mutu kelas III | Keterangan |
|----|----------|-------------------------|---------------------|---|
| 1 | Nitrit | 0.14 | 0.06 | Baik VSSF dan HSSF belum memenuhi baku mutu kelas III |
| | a. VSSF | 0.08 | | |
| 2 | Amonia | 0.683 | - | Amonia tidak ada baku mutu kelas III |
| | a. HSSF | 0.963 | | |
| 3 | COD | 6.45 | 50 | Baik VSSF dan HSSF telah memenuhi baku mutu kelas III |
| | a. VSSF | 4.21 | | |
| 4 | BOD | 4.87 | 6 | Baik VSSF dan HSSF telah memenuhi baku mutu kelas III |
| | a. VSSF | 2.95 | | |
| | b. HSSF | | | |

Tabel 4 menyajikan hasil pengolahan *effluent* limbah yang telah diolah dengan menggunakan *VSSF* dan *HSSF Wetland* dan dibandingkan dengan baku mutu kelas III sesuai dengan PP No 82 Tahun 2001. Berdasarkan tabel tersebut, hanya COD dan BOD yang telah memenuhi baku mutu kelas III, sedangkan nitrit belum memenuhi baku mutu kelas III dan amonia tidak terdapat baku mutu kelas III. Hasil dari penelitian ini belum dapat menyimpulkan bahwa pengolahan dengan menggunakan *VSSF* dan *HSSF* telah dapat memenuhi baku mutu kelas III karena ada salah satu variabel penelitian yang belum memenuhi baku mutu kelas III.

Menurut UN-HABITAT (2008) suatu sistem *wetland* pada dasarnya terdiri dari air limbah, substrat, vegetasi, serta organisme / bakteri. Masing-masing komponen pada sistem ini mempunyai peran. Proses penghapusan polutan pada sistem *wetland* terjadi melalui beberapa proses yang meliputi proses fisik, kimia dan biologi. Ketika air limbah mulai dimasukkan ke dalam sistem *wetland*, terjadi proses filtrasi dan sedimentasi. Padatan yang masih ada di dalam air limbah akan tertahan dan terjebak pada substrat. Kemudian ketika air limbah sudah mencapai dasar reaktor, terjadi proses sedimentasi yang akan mengendapkan padatan yang masih lolos dari substrat.

Mikroba yang hidup di dalam sistem *wetland* berperan terhadap penghilangan senyawa organik terlarut, yaitu melalui mekanisme degradasi biologis aerob maupun anaerob. Sedangkan untuk mekanisme penghapusan nitrit dan amonia mencakup penguapan, amonifikasi, nitrifikasi / denitrifikasi, dan penyerapan tanaman. Pada proses nitrifikasi, amonia diubah menjadi nitrit kemudian diubah kembali menjadi nitrat oleh bakteri pada kondisi aerob. Selain diubah menjadi nitrit, amonia juga diserap oleh tumbuhan. Sehingga berkurangnya amonia dapat dijelaskan oleh kedua proses ini. Pengurangan nitrit juga dapat dijelaskan oleh proses nitrifikasi tersebut serta penyerapan oleh tanaman (Handayanto: 2007).

KESIMPULAN

1. Kualitas *effluent* IPAL perusahaan obat dan obat tradisional sesudah diolah menggunakan sistem *VSSF* dan *HSSF Wetland* lebih baik daripada sebelum diolah menggunakan sistem tersebut. Peningkatan kualitas air dengan jalan menurunkan nitrit sebesar 54.84% pada *VSSF Wetland* dan 74.19% pada *HSSF Wetland*, amonia sebesar 71.58% pada *VSSF Wetland* dan 59.93% pada *HSSF Wetland*, COD sebesar 91.78% pada *VSSF Wetland* dan 94.64%

pada *HSSF Wetland* serta BOD sebesar 89.38% pada *VSSF Wetland* dan 93.56% pada *HSSF Wetland*.

2. Berdasarkan hasil eksperimen, hanya COD dan BOD yang telah memenuhi baku mutu kelas III. Untuk variabel nitrit belum memenuhi baku mutu kelas III dan amonia tidak terdapat baku mutu kelas III.

UCAPAN TERIMAKASIH

Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri, Sekretariat Jenderal, Kementerian Pendidikan Nasional atas Program Beasiswa Unggulan yang diberikan kepada penulis dalam melanjutkan studi jenjang S2 Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang. PT Phapros atas pemberian izin pengambilan *effluent* limbah dan pemberian data hasil uji BBT PPI.

DAFTAR PUSTAKA

- Davis, L. 1994. *A Handbook of Constructed Wetlands*. USDA-Natural Resources Conservation Service and the US Environmental Protection Agency-Region III
- Handayanto, E., dan Hairiah, K. 2007. *Biologi Tanah*. Pustaka Adipura: Yogyakarta.
- Kurniade, D. 2011. *Wastewater Treatment Using Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland in Indonesia*. American Journal of Environment Science 7 (1): 15-19.
- Maturama, E.M., Mierzwa, J.C. 2007. *Water Conservation and Reuse in Poultry Processing Plant – A Case Study*. Journal Resources, Conservation and Recycling 52: 835-842.
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 Tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Purwati, S., Surachman, A. 2006. *Potensi dan Pengaruh Tanaman Pada Pengolahan Air Limbah Pulp dan Kertas dengan Sistem Lahan Basah*. Berita Selulosa Vol. 42 (2): 45-53.
- Sohair, I. A., and Hellal, M.S. 2012. *Minicipal Wastewater Treatment Using Vertical Flow Constricted Wetlands Planted with Canna, Phragmites and Cyprus*. Ecological engineering 47: 209-213.
- UN-HABITAT, 2008. *Constructed Wetlands Manual*. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu.

Vymazal, J., and Kröpfelová, L. 2009. *Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: A review of the field experience*. *Science of The Total environment* 407: 3911-3922.