PENYISIHAN KADAR AMONIAK PADA LIMBAH CAIR DOMESTIK DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND BIO-RACK*

Muhammad Al Kholif dan Sugito
Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dam Perencanaan (FTSP)
Universitas PGRI Adi Buana Surabaya
Email: alkholif87@unipasby.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengkaji efisiensi jenis tanaman dan waktu tinggal dalam menurunkan kandungan amoniak pada air limbah domestik menggunakan Bio-Rack Wetland. Bio-rack merupakan sistem baru dalam media pengolahan constructed wetland. Bio-rack wetland dijalankan dengan variasi waktu tinggal selama 15 jam dan 20 jam. Media bio-rack terbuat dari pipa PVC dengan ukuran diameter 22 mm. Tumbuhan yang ditanam pada media bio-rack adalah Typha latifolia dan Phragmites australis. Efisiensi penyisihan suhu, pH, dan amoniak pada reaktor bio-rack wetland dilakukan berdasarkan prosedur laboratorium. Efisiensi sistem bio-rack wetland yang terbaik dalam menyisihkan pencemar amoniak yaitu tanaman Typha latifolia dengan efisiensi penyisihan sebesar 35,2% pada waktu tinggal 20 jam. Sedangkan pada tanaman Phragmites australis mampu menyisihkan kadar amoniak sebesar 28,4% dengan waktu tinggal 20 jam. Efisiensi penyisihan parameter uji terbukti lebih baik pada bio-rack wetland dengan tanaman Typha latifolia pada waktu tinggal 20 jam.

Kata Kunci: Amoniak, Bio-rack Wetland, Phragmites australis, Typha latifolia, Waktu Tinggal.

ABSTRACT

This study aims to assess the efficiency of plant species and residence time in reducing ammonia content in domestic wastewater using Bio-Rack Wetland. Bio-rack is a new system in the constructed wetland processing media. Wetland bio-rack is run with a variation of the residence time of 15 hours and 20 hours. Bio-rack media is made of PVC pipes with a diameter of 22 mm. Plants grown on bio-rack media are Typha latifolia and Phragmites australis. The removal efficiency of temperature, pH, and ammonia in the wetland bio-rack reactor is carried out based on laboratory procedures. The best efficiency of the bio-rack wetland system in removing ammonia pollutants is Typha latifolia plants with a removal efficiency of 35.2% at a residence time of 20 hours. Whereas the Phragmites australis plant can set aside ammonia levels of 28.4% with a residence time of 20 hours. The removal efficiency of the test parameters was proven to be better in the wetland bio-rack with Typha latifolia plants at a residence time of 20 hours.

Keywords: Ammonia, Bio-rack Wetland, Phragmites australis, Typha latifolia, the length of time.

1. PENDAHULUAN

Sumber utama timbulan air limbah domestik di Indonesia yaitu adanya pemakaian air yang berlebihan oleh aktivitas rumah tangga, industri atau perkantoran. Setidaknya kurang lebih 85% air limbah domestik berada diperairan. Pada beberapa negara maju, limbah domestik yang dihasilkan tidak lebih dari 15%. Sebagian besar bahan ini berupa pencemar seperti senyawa mineral dan bahan organik terlarut (Pungut & Al Kholif, 2016). Karakteristik utama dalam air limbah domestik yaitu berupa kadar pencemar seperti BOD, COD, padatan tersuspensi (TSS), amoniak (NH_3) dan sedikit minyak dan lemak. Pada beberapa kasus, limbah domestik banyak menganduk kadar amoniak yang cukup tinggi. Umumnya kadar amoniak ini berada pada permukaan air limbah. Sedangkan sebagian merupakan proses penguraian dari zat organik yang mengandung nitrogen kemudian diuraikan oleh mikroorganisme dari hidrolisa urea (Lestari, 2012).

Beberapa metode penelitian bahkan dianggap paling berhasil dengan memanfaatkan lahan basah sebagai indikator utama dalam sistem antropogenik *(Balcombe et al., 2005; C. A. Johnston et al*., 2008; C. Johnston & Brown, 2013). Pada penelitian yang lain, metode ini dianggap cukup berhasil dalam mengolah air limbah domestik. Proses ini dapat dilakukan dengan metode fisika, kimia ataupun biologi (Brix & Arias, 2005). Sementara itu dalam beberapa penelitian telah menilai adanya perbedaan dalam komunitas atau kelompok mikroba dengan fungsi tertentu dalam memperbaiki kembali lingkungan yang tercemar dengan menggunakan sistem wetland (Card & Quideau, 2010; Hartman *et al*., 2008; Peralta *et al*., 2010; Sims *et al*., 2012; Smith *et al*., 2007).

Penerapan sistem wetland sejatinya sudah lama dikembangkan oleh para peneliti dalam melakukan pengolahan air limbah. Dalam proses tahapan pengolahan limbah, system wetland merupakan sistem pengolahan tahap ke tiga. Sistem ini dianggaap lebih sederhana karena memanfaatkan tumbuhan dalam menguraikan air limbah. *Bio-rack wetland* merupakan salah satu dari *constructed wetland* yang baru diusulkan oleh (Valipour *et al*., 2012), fitur unik dari sistem ini adalah presensi dari banyak pipa vertikal, bebas dari sedimen tetapi ditanam dengan *P. australis*, dirakit sebagai rak (bio), yang dimaksudkan untuk matriks penahanan dan dukungan untuk pertumbuhan bakteri. Di sini, *bio-rack* diisi dengan substrat untuk mengambil keuntungan dari kedua sistem, yaitu di CW konvensional substrat menyediakan situs adsorpsi, sementara *bio-racks* menyediakan fasilitas pemeliharaan dengan memungkinkan arah dari waktu ke waktu. Omset seperti itu dapat menghindari penyumbatan karena akumulasi atom, perkembangan biofilm dan kejenuhan.

Ammonia dapat diolah dan dihilangkan dengan cara reaksi biologis. Reaksi yang terjadi secara berurutan antara nitrifikasi dan denitrifikasi merupakan proses biologis untuk mengolah dan menghilangkan ammonium dalam bentuk gas N_2 (Al Kholif & Ratnawati, 2017). Kadar amoniak dalam air limbah akan mengalami penurunan yang sangat drastis hingga ke level yang stabil ketika dilakukan dengan proses secara biologis. Kadar amoniak dalam air limbah akan mengalami penurunan ketika terjadi volatilisasi, imobilisasi dan ammonifikasi dari kadar amoniak itu sendiri (Ratnawati & Talarima, 2017).

Perkembangan teknologi pengolahan limbah domestik dengan sistem *wetland bio-rack* sebenarnya belum begitu banyak, namun hasil yang didaptkan terbilang berhasil dalam menyisihkan pencemar pada air limbah domestik. Tahapan penelitian yang dilakukan

merupakana perkembangan sistem *wetland bio-rack*. Kondisi awal air limbah untuk parameter amoniak masih diambang batas berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 68 Tahun 2016. Data awal air limbah domestik sebelum dilakukan pengolahan untuk kadar amoniak sebesar 14,5 mg/L. Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan variasi jenis tumbuhan yaitu tanaman lilin air (*Typha latifolia*) dan tanaman alang-alang (*Phragmites australis*) dan waktu tinggal 15 jam dan 20 jam untuk menyisihkan senyawa amonia pada air limbah domestik. Efisiensi sistem *bio-rack wetland* pada tanaman lilin air (*Typha latifolia*) yaitu NH_3=35,2% dengan waktu tinggal 20 jam. Sedangkan pada tanaman alang-alang (*Phragmites australis*) yaitu NH_3=28,4% dengan waktu tinggal 20 jam. Efisiensi penyisihan amoniak dari kedua jenis tanaman dan waktu tinggal terbukti paling efisien pada tanaman lilin air (*Typha latifolia*) dengan waktu tinggal 20 jam.

Tujuan dari penelitian yaitu mengkaji efisiensi jenis tumbuhan dan lama masa tinggal tanaman dalam mereduksi kandungan amoniak pada air limbah dengan menggunakan *constructed wetland bio-rack.* Serta manfaat dari penelitian yaitu dapat dijadikan tambahan pengetahuan cara pengolahan air limbah bagi rumah tangga dengan menggunakan media tumbuhan dalam menurunkan kadar amoniak, diharapkan dapat menjadi salah satu sumber informasi sekaligus masukan bagi perencanaan, pembangunan, dan pengawasan air di badan air dan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian sejenis dan selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Sampel Penelitian

Penelitian limbah cair domestik menggunakan sistem *CW Bio-rack* di lakukan di Dukuh Sumbersari RT 01 RW 02 Kel. Sumberrejo Kec. Pakal Kota Surabaya. Dalam penelitian ini sampel yang digunakan adalah air limbah domestik di Dukuh Sumbersari RT 01 RW 02 Kel. Sumberrejo Kec. Pakal Kota Surabaya.

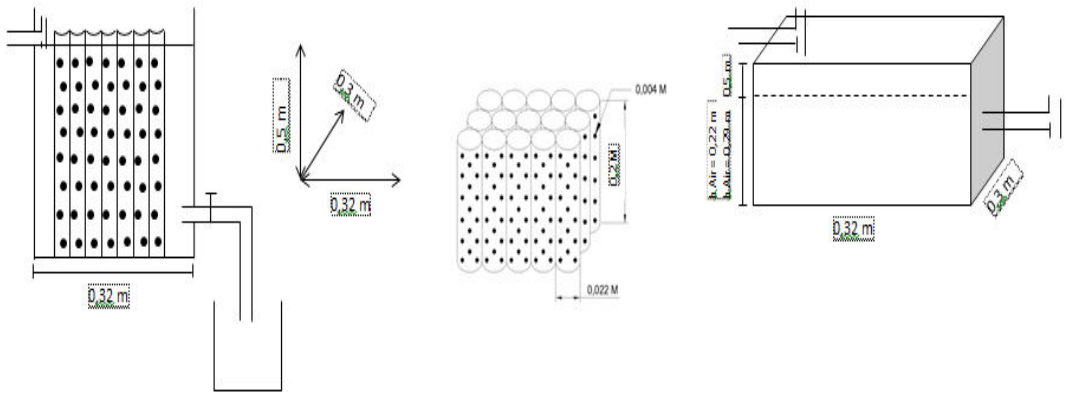
Air limbah domestik yang diolah dialirkan ke dalam 2 buah reaktor *wetland* secara kontinyu dengan debit 20 ml/menit. Sampel yang diambil untuk dianalisa yaitu sampel *inlet* dan *outlet*. Pengambilan sampel *inlet* dilakukan sebelum proses pengolahan dan diambil sekali dalam 1 hari selama 10 hari berturut-turut. Sedangkan pengambilan sampel *outlet* dilakukan setelah waktu operasi proses pengolahan yakni setelah 15 jam dan 20 jam selama 10 hari berturut-turut.

Karakteristik limbah domestik yang bervariasi dan seringkali mencemari lingkungan membuat peneliti tertarik untuk menyelesaikan permaslahan tersebut. Sampel air limbah domestik diambil pada salah satu permukiman di Surabaya, Jawa Timur. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa perlakuan yaitu menggunakan dua jenis tanaman yaitu tanaman lilin air (*Typha latifolia*) dan tanaman alang-alang (*Phragmites australis*). Waktu tinggal yang diterapkan untuk kedua jenis tanaman adalah dengan waktu tinggal (Td) 15 jam dan 20 jam. Penelitian dilakukan selama 10 hari untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

2.2. Peralatan dan Bahan Penelitian

Air limbah domestik yang diolah dengan menggunakan reaktor *bio-rack wetland* dari plastik dengan ukuran masing-masing reaktor untuk td 15 jam = 0,32 m x 0,3 m x 0,22 m dan untuk td 20 jam 0,32 m x 0,3 m x 0,29 m dengan debit keseluruhan 1,4 L/jam. Reaktor *bio-racck wetland* kemudian di isi media *bio-rack* sebagai media pertumbuhan mikroorganisme yang

diharapkan akan menyerap senyawa amoniak. *Bio-rack* terbuat dari pipa PVC dengan ukuran diameter 22 mm, kedalaman 0,2 m dirakit sebagai rak. Setiap pipa dipasang secara vertikal dengan holodiamter 0,004 m dan tiap pipa diberi jarak 0,1 m untuk memungkinkan transportasi air dan pengembangan akar keluar dari pipa. Gambar desain ukuran reaktor *bio-rack wetland* yang digunakan dalam penelitian adalah seperti gambar 1.



Gambar 1. Desain Bak Pengolahan

Sebelum penelitian dimulai tanaman lilin air dan tanaman alang-alang dilakukan proses aklimatisasi dengan tujuan untuk memberi waktu tanaman beradaptasi dengan media tumbuhnya yang baru. Proses aklimatisasi berlangsung selama 14 hari dengan media *bio-rack* dimana dalam waktu tersebut tanaman sudah beradaptasi dengan media tanamnya yang baru. Proses aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan dengan menyiramkan air selama 5 hari selanjutnya berangsur-angsur diganti dengan air limbah sampai pelaksanaan pengambilan sampel. Proses adaptasi ini berhasil ditandai dengan tanaman muncul tunas baru dan akar tanaman sudah berlendir.

2.3. Tahap Pengumpulan Data

Proses ini dilakukan dengan observasi antara lain:

a. Analisis kualitas air limbah awal meliputi parameter amoniak, pH, dan suhu.
b. Prosedur pengoperasian reaktor *bio-rack wetland* adalah sebagai berikut:
   - Mengatur konsentrasi imputan air limbah dengan pemakaian kran dengan debit yang diinginkan yaitu 1,4 L/jam atau 20 ml/menit yang diaplikasikan dalam *bio-rack*.
   - Effluent dari *bio-rack* diambil dan dianalisis sesuai dengan parameter yang diukur secara berkala selama 10 hari.
   - Pengukuran parameter amoniak dilakukan dengan analisis influen dan effluent air limbah.
c. Proses analisis amoniak dilakukan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik.

2.4. Metode Analisis Data

Untuk mengetahui jenis tanaman yang paling efektif dan seberapa besar efisiensi waktu tinggal pada *Bio-Rack wetland*, maka analisis data yang digunakan yaitu secara deskriptif dengan menggunakan grafik berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengukuran parameter yang diteliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Awal Air Limbah Domestik

Hasil uji karakteristik air limbah domestik sebelum dilakukan pengolahan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Air Limbah Domestik

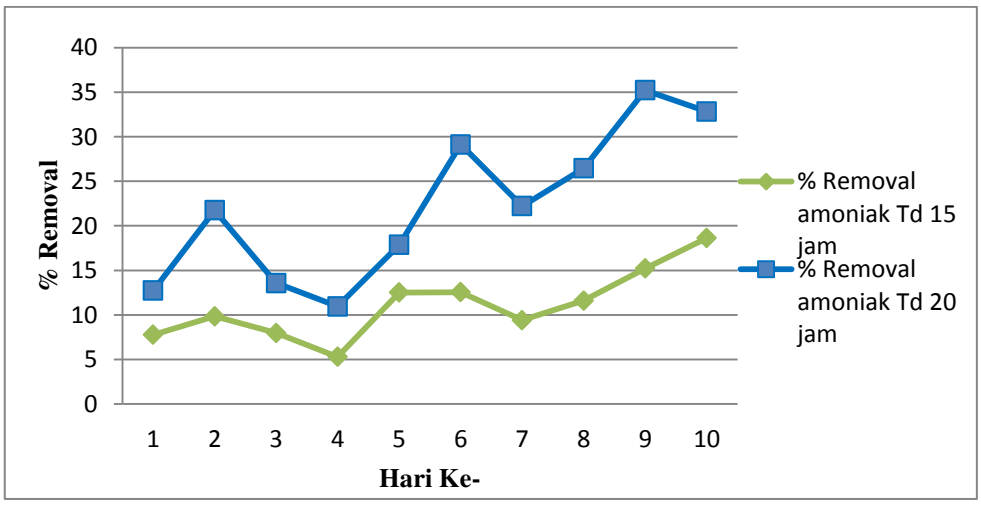
Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu*
Amoniak	mg/L	14,5	10
Suhu	^{0}C	26	-
pH	-	8,9	6-9

*: Hasil analisa sesuai baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016

Kadar amoniak di dalam air bisa berupa ion ammonium (NH_4^+) dan ammonia terlarut (NH_3). Organisme akuatik dapat mengalami toksisitas ketika amoniak bebas ini terionisasi. Kadar ini dapat meningkat seiring dengan adanya peningkatan suhu dan pH air serta dapat bersifat racun baik dalam jumlah kecil maupun banyak. Peningkatan toksisitas amoniak dalam air akan sejalan dengan adanya penurunan kadar oksigen terlarut (Al Kholif, & Ratnawati, 2017).

3.2. Efektivitas Tanaman Lilin Air (*Typha latifolia*) pada *Constructed Wetland Bio-rack*

Konsentrasi amoniak yang tidak stabil lebih karena dipengaruhi oleh adanya penyerapan tanaman dan adanya proses proses nitrifikasi dari amonia menjadi nitrit ke nitrat. Penambahan tanaman akan meyebabkan penyerapan nitrogen dan umumnya terjadi secara langsung. Tanaman memiliki peranan yang sangat penting kerena selain sebagai penghilang nitrogen, tanaman juga dapat berfungsi sebagai penyedia oksigen bagi bakteri aerob yang berfungsi untuk pengurai limbah (Abdulgani *et al*., 2013). Penerapan constructed wetland juga mampu menyisihkan pencemar seperti COD sebesar 33-77% (Li *et al*., 2009). Grafik perbandingan efisiensi penurunan kadar amoniak dengan sistem *constructed wetland bio-rack* menggunakan tanaman lilin air dapat dilihat pada Gambar 2.



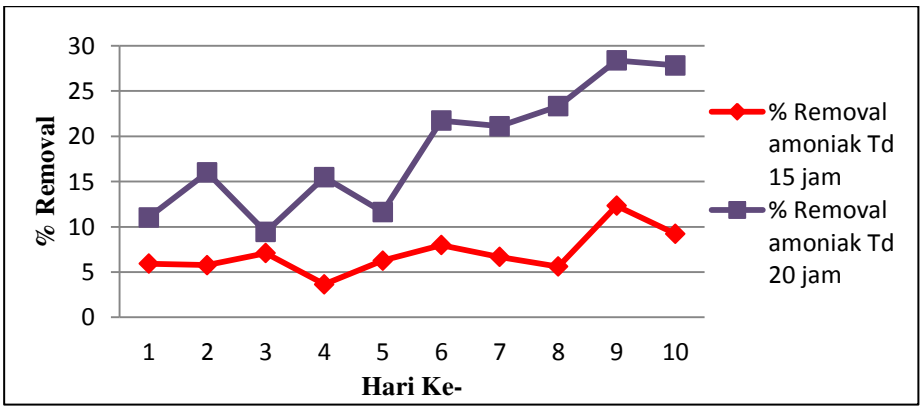
Gambar 2. Penurunan Konsentrasi NH_3 pada Td 15 jam dan 20 jam menggunakan Tanaman Lilin Air (*Typha latifolia*)

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa persentase removal tertinggi kadar amoniak dengan waktu tinggal (Td) 15 jam terjadi pada hari ke 10 sebesar 18,62%. Dimana, hasil analisa laboratorium konsentrasi effluent amoniak dalam air limbah sebesar 10,4 mg/L. Rata-rata persentase penurunan pada tanaman lilin air sebesar 11,08% dengan rerata kadar amoniak 11,64 mg/L. sedangkan waktu tinggal (Td) 20 jam terjadi pada hari ke-9 sebesar 35,23%. Dimana, hasil analisa laboratorium konsentrasi effluent amoniak dalam air limbah sebesar 9,65 mg/L. Rata-rata persentase penurunan pada tanaman lilin air sebesar 22,28% dengan rerata kadar amoniak 11,64 mg/L. secara keseluruhan Nampak nilai pH pada semua reaktor yang ditanami tanaman lilin air selama penelitian terjadi dengan kisaran nilai 7-8 dengan suhu 27-28 ^{o}C. pertumbuhan mikroorganisme dalam mendegradasi dapat berlangsung dengan baik ketika pH air berada pada kisaran pH netral (Ratnawati & Talarima, 2017).

Efisiensi kadar amoniak dengan menggunakan sistesm *constructed wetland bio-rack* sebesar 79,4% dan 77,3% dengan waktu tinggal 21 dan 27 jam (Jamshidi *et al.*, 2014). Tumbukan akan memiliki waktu penyerapan yang maksimal ketika masa tinggal di dalam rekator semakin lama (Masturah dkk., 2014). Setiap peningkatan dan penurunan nilai yang sangat drastis dipengaruhi oleh adanya pengenceran oleh air hujan pada proses dan hasil percobaan. Selain itu, beban cemaran pada air limbah baku setiap harinya berbeda. Sehingga efisiensi penurunan kadar amoniak pada penelitian ini menunjukkan grafik yang tidak seimbang.

3.3. Efektivitas Tanaman Alang-Alang (*Phragmites australis*) pada *constructed Wetland Bio-rack*

Sistem *bio-rack wetland* yang menggunakan tanaman *Phragmites sp*. pada penelitian (Valipour *et al*., 2015) mampu menurunkan kadar NH_3-N sebesar 70,22% dengan waktu tinggal 10 jam. Nitrogen terakumulasi dalam *bio-rack wetland* oleh permukiman gravitasi dan sedikit intersepsi. Nitrifikasi/denitrifikasi mikroba juga merupakan mekasnisme penghilangan nitrogen utama dalam *bio-rack wetland*. Dalam sistem bio-rack, akar tanaman mengganti matriks konvensional menjadi pembawa utama spesies mikroba, dan lebih banyak biomassa akar dapat menyediakan lebih luas permukaan untuk pertumbuhan mikroorganisme, lebih besar ruang dan kemungkinan perlekatan untuk mikroorganisme dan nutrisi, dan lingkungan mikroba anaerob/aerob yang lebih signifikan sangat bermanfaat bagi proses nitrifikasi/denitrifikasi. Grafik perbandingan efisiensi penurunan kadar amoniak pada sistem *constructed wetland bio-rack* dengan menggunakan tanaman alang-alang tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Penurunan Konsentrasi NH_3 pada Td 15 jam dan 20 Jam menggunakan Tanaman Alang-Alang (*Phragmites australis*)

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa persentase removal tertinggi kadar amoniak dengan waktu tinggal (Td) 15 jam terjadi pada hari ke-10 sebesar 12,32%. Dimana, hasil analisa laboratorium kadar amoniak sebesar 12,1 mg/L. Rata-rata persentase penurunan pada tanaman alang-alang sebesar 7,05% dengan rerata kadar amoniak 12,16 mg/L. sedangkan pada waktu tinggal (Td) 20 jam terjadi pada hari ke-9 sebesar 28,39%. Dimana, hasil analisa laboratorium kadar amoniak sebesar 10,67 mg/L. Rata-rata persentase penurunan pada tanaman alang-alang sebesar 18,60% dengan rerata kadar amoniak 10,91 mg/L.

Terjadinya penurunan kadar amoniak yang lebih besar karena dipengaruhi oleh volatilisasi kadar amoniak itu sendiri. Selain itu juga karena adanya peran ammonifikasi dan imobilisasi mikroorganisme (Ratnawati & Talarima, 2017). Cuaca hujan maupun panas menjadikan suhu didalam bak *wetland* berkondisi suhu tinggi, sedang ataupun tinggi. Faktor suhu ini berdasarkan teori *wetland* sangat berpengaruh pada hasil. Suhu ideal *wetland* adalah 20-30^{o}C (Pungut & Al Kholif, 2016).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Valipour *et al*., 2015), Karakteristik effluent sistem *constructed wetland bio-rack* mampu menurunkan kadar amoniak (NH_3-N) sebesar 9,26 mg/L dengan waktu tinggal 10 jam menggunakan tanaman alang-alang (*Phragmites australis*). Efisiensi penurunan oleh *bio-rack wetland* pada total N=97,99%. Efisiensi pengolahan limbah cair pencucian ikan tercapai lebih baik selama 3 hari.

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi percobaan ini yaitu massa tinggal olah terhadap semua percobaan tidak sama yakni selama 15 jam dan 20 jam. Selain itu, cemaran limbah awal (baku) sebagai input menunjukkan fluktuasi yang tergantung kualitas cemaran. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka harus dilakukan kontak yang lebih lama antara tanaman dengan limbah cair (Artiyani, 2011).

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari kedua jenis tanaman yang digunakan yakni tanaman lilin air (*Typha latufolia*) dan tanaman alang-alang (*Phragmites australis*) diperoleh hasil yang paling efisien dalam menurunkan kadar amoniak yaitu tanaman lilin air sebesar 35,2% sedangkan pada tanaman alang-alang sebesar 28,4%.
2. Pada waktu tinggal (Td) 20 jam di hari ke-9 dengan penyisihan sebesar 35,2% menggunakan tanaman lilin air dan hasil analisa kadar amoniak sebesar 9,65 mg/L. Sedangkan pada waktu tinggal (Td) 20 jam mampu menurunkan kadar amoniak sebesar 28,4% di hari ke-9 dengan hasil analisa kadar amoniak sebesar 10,7 mg/L menggunakan tanaman alang-alang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini mendapatkan dukungan dari UPT Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik sebagai tempat analisis sampel.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulgani, H., Izzati, M., & Sudarno. (2013). Pengolahan Limbah Cair Kerupuk dengan Sistem Subsurface Flow Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Typha Angustifolia. *Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Alam Dan Lingkungan 2013*, 482–488.

Al Kholif, M., & Ratnawati, R. (2017). Pengaruh Beban Hidrolik Media Dalam Menurunkan Senyawa Ammonia Pada Limbah Cair Rumah Potong Ayam (RPA). *Waktu*, *15*(Januari), 1–9.

Artiyani, A. (2011). Penurunan Kadar N-Total Dan P-Total Pada Limbah Cair Tahu Dengan Metode Fitoremediasi Aliran Batch Dan Kontinyu Menggunakan Tanaman Hydrilla Verticillata. *Spectra*, *IX*(18), 9–14.

Balcombe, C., Anderson, J., Fortney, R., Rentch, J., Grafton, W., & Kordek, W. (2005). A comparison of plant communities in mitigation and reference wetlands in the mid-Appalachians. *Wetlands*, *25*, 130–142.

Brix, H., & Arias, C. (2005). Danish Guidelines for Small-Scale Constructed Wetland System for Onsite Treatment of Domestic Sewage. *Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, *51*, 1–9.

Card, S., & Quideau, S. (2010). Microbial community structure in restored riparian soils of the Canadian prairie pothole region. *Soil Biology and Biochemistry*, *42*, 1463–1471.

Hartman, W. H., Richardson, C. J., Vilgalys, R., & Bruland, G. L. (2008). Environmental and anthropogenic controls over bacterial communities in wetland soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(46), 17842–17847.

Jamshidi, S., Akbarzadeh, A., Woo, K., & Valipour, A. (2014). Wastewater treatment using integrated anaerobic baffled reactor and Bio-rack wetland planted with Phragmites sp. and Typha sp. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, *12*, 131.

Johnston, C. A., Ghioca, D. M., Tulbure, M., Bedford, B. L., Bourdaghs, M., Frieswyk, C. B., Vaccaro, L., & Zedler, J. B. (2008). Partitioning vegetation response to anthropogenic stress to develop multi-taxa wetland indicators. *Ecological Applications*, *18*(4), 983–1001.

Johnston, C., & Brown, T. (2013). Water chemistry distinguishes wetland plant communities of the Great Lakes coast. *Aquatic Botany*, *104*, 111–120.

Lestari, D. I. (2012). Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Metode Rawa Buatan (Constructed Wetland). Jurusan Kesehatan Masyarakat. In *Universitas Negeri Islam Alauddin Makassar*. Universitas Negeri Islam Alauddin Makassar.

Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of The Total Environment*, *407*(11), 3439–3449.

Masturah, A., Darmayanti, L., & Lilis, Y. (2014). *Pengolahan Air Limbah Domestik menggunakan Tanaman Alisma plantago dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran*

Bawah Permukaan (SSF-Wetland). *1*(1), 1–11.

Menteri Lingkungan Hidup No 68 Tahun 2016. (n.d.). Peraturan MenLH No 68. In *Menteri Lingkungan Hidup No 68*.

Peralta, A. L., Matthews, J. W., & Kent, A. D. (2010). Microbial community structure and denitrifikation in a wetland mitigation bank. *Applied and Environmental Microbiology*, *76*(13), 4207–4215.

Pungut, & Al Kholif, M. (2016). Pemanfaatan Parit Drainase Sebagai Wetland Untuk Mendegradasi Cemaran Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik WAKTU*, *14*(1), 8–14.

Ratnawati, R., & Talarima, A. (2017). Subsurface (SSF) Constructed Wetland Untuk Pengolahan Air Limbah Laundry. *Teknik Waktu*, *15*(2), 1–6.

Sims, A., Horton, J., Gajaraj, S., McIntosh, S., Miles, R. J., Mueller, R., Reed, R., & Hu, Z. (2012). Temporal and spatial distributions of ammonia-oxidizing archaea and bacteria and their ratio as an indicator of oligotrophic conditions in natural wetlands. *Water Research*, *46*(13), 4121–4129.

Smith, J. M., Castro, H., & Ogram, A. (2007). Structure and function of methanogens along a short-term restoration chronosequence in the Florida Everglades. *Applied and Environmental Microbiology*, *73*(13), 4135–4141. https://doi.org/10.1128/AEM.02557-06

Valipour, A., Azizi, S., V., K., Jamshidi, S., & Hamnabard, N. (2015). The Comparative Evaluation of the Performance of Two Phytoremediation Systems for Domestic Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Science and Engineering*, *56*, 319–326.

Valipour, A., V., K., & Badaliansgholikandi, G. (2012). Comparative evaluation on the performance of bio-rack and shallow pond systems for domestic wastewater treatment. *Journal of Environmental Science & Engineering*, *54*, 453–462.