

KAJIAN PENGARUH LAPISAN MEDIA PADA *NON-VEGETATED* *SWALE* SEBAGAI FILTER LARUTAN PUPUK NPK

Rizki Zulapriansyah¹⁾, Intan Supraba¹⁾, Muhammad Mufti Azis²⁾

¹⁾ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

²⁾ Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email: intan.supraba@ugm.ac.id

Abstrak

Penggunaan pupuk NPK pada lahan pertanian secara berlebihan mengakibatkan banyak pupuk tidak terserap sehingga terbawa masuk ke perairan oleh limpasan air permukaan saat hujan dan menyebabkan eutrofikasi. Unsur hara anorganik Nitrogen (N) dan Fosfor (P) menjadi nutrisi bagi alga sehingga menyebabkan tumbuhnya alga yang berlebihan pada perairan atau biasa disebut algae bloom. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji seberapa besar pengaruh jenis dan tinggi lapisan media pada non-vegetated swale dalam menyaring parameter Nitrogen (N) dan Fosfor (P) yang berasal dari larutan pupuk NPK komersial. Metode yang diterapkan adalah dengan menyiramkan aliran air larutan pupuk NPK melalui non-vegetated swale dengan dua ketebalan lapisan yang berbeda. Konsentrasi masuk larutan NPK yaitu 123,77-124,77 mg/l fosfat, 16,54-16,72 mg/l amoniak serta kandungan nitrat dan nitrit yang kecil. Aliran air larutan pupuk NPK sebelum dan sesudah melalui non-vegetated swale diambil sampelnya yang kemudian diuji dengan alat spektrofotometer untuk mengetahui perbedaan kandungan fosfat, nitrat, nitrit dan amoniaknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua non-vegetated swale memiliki kemampuan menyaring konsentrasi fosfat pada larutan air pupuk NPK yang sangat baik, keduanya mampu mengurangi konsentrasi fosfat hingga 120 mg/l. Hasil pengukuran nitrat dan nitrit menunjukkan kenaikan sekitar 5 mg/l, sedangkan kandungan amoniak turun sekitar 16 mg/l. Hal ini menunjukkan terjadinya proses nitrifikasi dan menunjukkan bahwa kedua non-vegetated swale pada penelitian ini memiliki kemampuan penyaringan N yang belum optimal.

Kata kunci : Bioswale, Fosfor, Nitrogen, Pupuk NPK, Spektrofotometer, Swale

Abstract

Excessive use of NPK fertilizer on agricultural land causing a large amount of fertilizer run off into water bodies during rain events due to low absorption in soil and causes eutrophication. Inorganic nutrients such as Nitrogen (N) and Phosphorus (P) are the primary nutrients that can cause rapid algae growth in waters or commonly known as algae bloom. This study aims to examine the influence of types and height of media layer on non-vegetated swale to filter Nitrogen (N) and Phosphorus (P) components from a commercial NPK fertilizer solution. The experiment was conducted by pouring a stream of NPK fertilizer solution through a non-vegetated swale with two different layer thicknesses. The inlet concentration of NPK solution was 123.77-124.77 mg/L of phosphate, 16.54-16.72 mg/L ammonia and negligible amount of nitrate and nitrite. Liquid samples were measured before and after passing through the non-vegetated swales to measure phosphate, ammonia, nitrate and nitrite using spectrophotometer instrument to determine differences in phosphate, nitrate, nitrite and ammonia concentrations. The results showed that both non-vegetated swales had the ability to filter phosphate concentration in the NPK fertilizer solution very well, both were able to reduce the phosphate concentration up to 120 mg/l. Measurement of nitrate and nitrite showed an increase of 5 mg/l, while the ammonia concentration decreased by about 16 mg/l. Hence, the result confirmed the presence of nitrification reaction and showed that the two non-vegetated swales still had limited capacity to filter N.

Keywords: Bioswale, Nitrogen, NPK Fertilizer, Phosphorus, Spectrophotometer, Swale

1. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok bagi seluruh makhluk hidup, perairan yang tercemar dapat berdampak buruk bagi makhluk hidup yang bergantung padanya. Salah satu contoh pencemaran air yang sering terjadi yaitu masuknya nutrien dalam jumlah banyak ke dalam perairan yang berasal dari pupuk pertanian ataupun limbah kotoran hewan. Salah satu jenis pupuk yang sering digunakan pada lahan pertanian adalah pupuk NPK. Pupuk NPK adalah pupuk kimia buatan berbentuk padat atau cair yang memiliki kandungan unsur hara utama berupa Nitrogen (N), Fosfor (P) dan Kalium (K). Penggunaan pupuk NPK pada lahan pertanian secara berlebihan dikhawatirkan akan mencemari dan menurunkan kualitas air tanah atau air sungai. Luasnya pencemaran badan air oleh pupuk kimia akibat intensifikasi pertanian pada abad kedua puluh di negara-negara industri di Amerika Utara dan Eropa Barat dan Tengah telah menjadi kekhawatiran utama (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018). Menurut (Peñuelas *et al.*, 2013) Nitrogen (N) dan fosfor (P) adalah nutrisi kunci dalam eutrofikasi; mereka memainkan peran dominan dalam menaikkan *Harmful Algae Bloom* (HAB) dengan konsentrasi yang meningkat secara signifikan di ekosistem air tawar. *Harmful Algae Bloom* (HAB) menurut (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2016) dengan jenis alga yang beracun dapat membunuh ikan, mamalia dan burung, serta dapat menyebabkan penyakit manusia atau bahkan kematian dalam kasus yang ekstrem. Sedangkan HAB dengan jenis alga tidak beracun, tetapi memakan semua oksigen di dalam air saat membusuk, menyumbat insang ikan dan invertebrata, atau menutupi karang dan vegetasi air yang terendam. Jenis alga lain lagi juga dapat menghitamkan air, membentuk tumpukan besar yang bau di pantai atau mencemari air minum.

Swale adalah sistem desain perkotaan peka air skala jalanan yang memanen air hujan, sambil menyaringnya melalui media tanah rekayasa dan membawanya ke fasilitas penyimpanan untuk digunakan kembali atau dibuang ke sistem drainase hilir atau ke perairan penerima. *Bioswale* adalah sebuah bioretensi yang terdiri dari area kecil yang digali dan ditimbun kembali dengan campuran tanah dengan permeabilitas tinggi dan bahan organik (opsional). *Bioswale* umumnya ditutupi dengan vegetasi darat asli untuk memberikan lanskap alami dan infiltrasi maksimum (Irvine and Kim, 2018). Menurut (Xiao *et al.*, 2017) *bioswale* tradisional dirancang untuk menghilangkan lumpur dan polutan lainnya dari air limpasan permukaan, *bioswale* mengintegrasikan campuran tanah yang

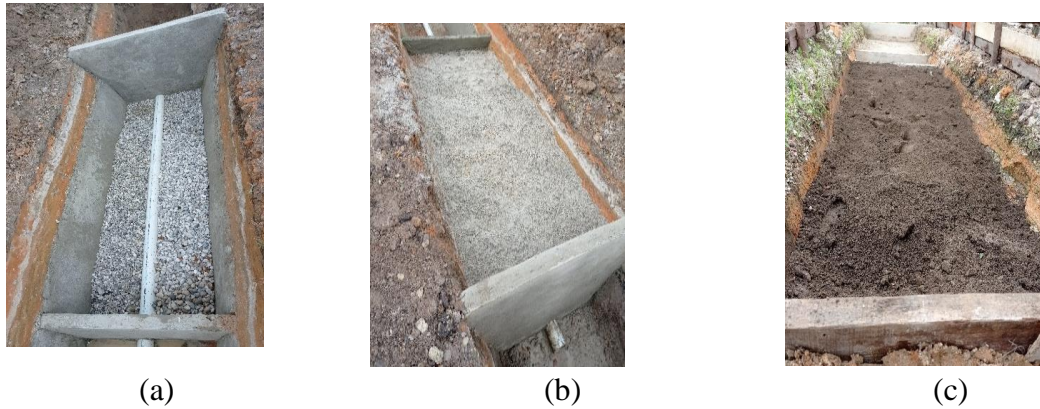
direkayasa dan vegetasi digunakan untuk meningkatkan pengolahan dan penyimpanan limpasan permukaan. Komposisi campuran tanah rekayasa sangat bervariasi, dari campuran sederhana batu, *lavarock* dan tanah asli hingga produk komersial yang dipatenkan. Perbedaan *swale* dan *bioswale* menurut (Morano, 2020) yaitu *swale* terletak rendah, cekungan di tanah yang dapat terjadi secara alami atau buatan manusia, sedangkan *bioswale* adalah versi *swale* dengan vegetasi yang dirancang khusus untuk mengontrol dan mengatur limpasan air hujan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Li *et al.*, 2016) pada *non-vegetated bioswale* yang menggunakan lapisan akuifer, tanah tanaman, *artificial packing layer*, dan lapisan kerikil. Aliran air yang masuk melewati *bioswale* dengan konsentrasi total nutrien dan total fosfor yang berbeda, pada sebagian besar *bioswale* yang di uji tingkat penyisihan total nutrien dari sampel air berada pada kisaran 35%-50%, sedangkan tingkat penyisihan total fosfor mencapai lebih dari 95%.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa besar pengaruh dari jenis dan tinggi lapisan media pada *non-vegetated swale* dalam menyaring parameter Nitrogen (N) dan Fosfor (P) yang berasal dari larutan pupuk NPK. Pengukuran konsentrasi N dan P dilakukan sebelum dan sesudah melewati *non-vegetated swale*. Sehingga, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam perancangan *non-vegetated swale*.

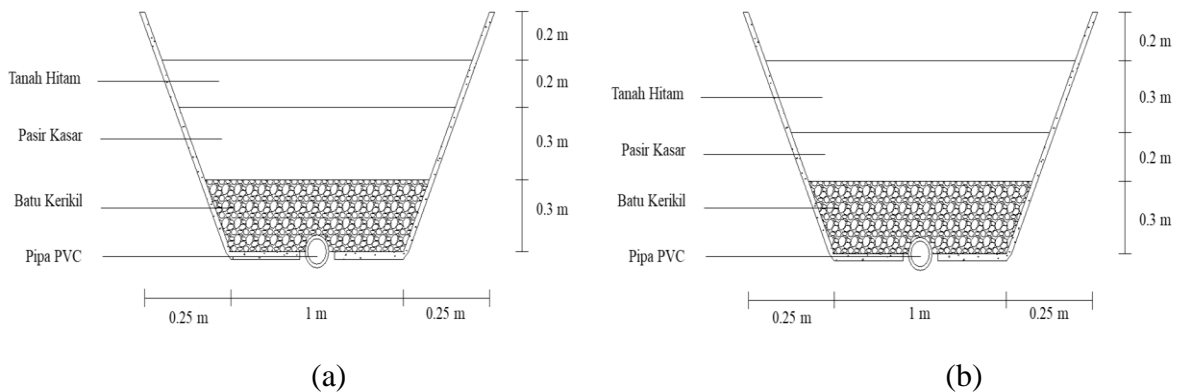
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada dua buah *non-vegetated swale* dengan dimensi panjang 4 m, lebar bawah 1 m, lebar atas 1,5 m, dan kedalaman 1,5 m. Pada *non-vegetated swale* 1, pada bagian bawah digunakan lapisan batu kerikil Gradasi A berdasarkan (Badan Standarisasi Nasional, 2008) dengan ketebalan 30 cm (lihat pada Gambar 1.a), kemudian lapisan pasir kasar menurut (Das, 1995) setebal 30 cm (lihat pada Gambar 1.b) dan lapisan tanah hitam untuk penanaman setebal 20 cm (lihat pada Gambar 1.c). Pada *non-vegetated swale* 2, pada bagian bawah digunakan lapisan batu kerikil Gradasi A berdasarkan (Badan Standarisasi Nasional, 2008) dengan ketebalan 30 cm, kemudian lapisan pasir kasar setebal 20 cm dan lapisan tanah hitam untuk tanaman setebal 30 cm.



Gambar 1. Lapisan Media *Non-Vegetated Swale* (a) Lapisan batu kerikil gradasi A (b) Lapisan pasir kasar (c) Lapisan tanah hitam untuk penanaman

Pada bagian tengah paling bawah *non-vegetated swale* diberi pipa pvc berlubang (lihat Gambar 2) sebagai tempat *outlet* air yang telah melewati *non-vegetated swale*, air yang mengalir keluar melewati pipa pvc kemudian ditangkap pada bak kontrol yang ada diujung *non-vegetated swale*.



Gambar 2. Dimensi dan Ketebalan Lapisan (a) *Non-vegetated swale 1* (b) *Non-vegetated swale 2*

Metode pengujian kinerja *non-vegetated swale* ini dilakukan dengan menggunakan larutan pupuk NPK 16-16-16 butiran padat yang dilarutkan dengan air. Penyiapan larutan NPK diawali dengan melarutkan 80 gram Pupuk NPK padat ke dalam 40 liter air dan kemudian diaduk selama 10 menit hingga pupuk NPK larut sempurna. Dengan demikian, komposisi pupuk NPK 16-16-16 yang dilarutkan adalah 2 gram/liter air. Larutan NPK 16-16-16 selanjutnya dialirkan melalui lapisan *non-vegetated swale*.

Mula-mula, konsentrasi awal larutan diukur dengan mengambil cuplikan menggunakan botol sampel sebagai nilai rujukan kondisi awal larutan sebelum melewati *non-vegetated swale*. Larutan air pupuk NPK sebanyak 40 liter ini kemudian disiramkan secara merata pada lapisan atas *non-vegetated swale* menggunakan alat penyiram tanaman (lihat Gambar 3) dengan debit aliran 4 liter/menit.



Gambar 3. Penyiraman Merata Larutan Air Pupuk NPK pada Lapisan Atas *Non-Vegetated Swale*

Selanjutnya, air yang keluar melalui pipa *outlet* yang terletak di bagian bawah lapisan *non-vegetated swale* ditampung dan dipindahkan ke dalam ember hingga didapat volume sebanyak 20 liter dan diambil sampel menggunakan botol sampel sebagai kondisi sampel air yang telah melewati lapisan *non-vegetated swale*. Pengujian atau pengaliran larutan air ke *non-vegetated swale* dilakukan sebanyak 2 kali untuk setiap *non-vegetated swale*. Sampel cair yang telah didapat kemudian diuji kandungan fosfat, nitrit, nitrat dan amonia dengan menggunakan alat spektrofotometer bermerek *Thermo Spectronic* seri *Spectronic 20D+*. Metode pengujian mengacu kepada Metode *Stannous Chloride* untuk uji fosfat, Badan Standardisasi Nasional (2004) untuk uji nitrit, Badan Standardisasi Nasional (2011) untuk uji nitrat dan Badan Standardisasi Nasional (2005) untuk uji amoniak. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Laut, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau.

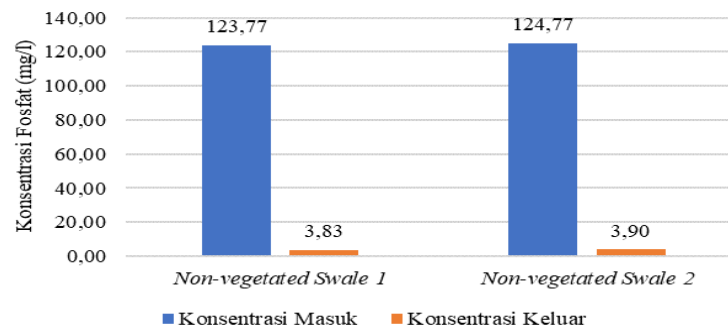
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah larutan air Pupuk NPK selesai disiramkan pada lapisan atas *non-vegetated swale*, diperlukan waktu 30 menit bagi larutan air untuk melewati semua lapisan media dan mulai keluar dari pipa *outlet*. Debit larutan air yang keluar melalui pipa *outlet* adalah

sebesar 0,11 liter/menit. Menurut (Hunt, Davis and Traver, 2012) *Hydraulic Residence Time* (HRT) yang lama dapat diharapkan untuk meningkatkan kualitas air. Dikarenakan proses penyaringan nitrogen lebih kompleks dibandingkan dengan penyaringan sedimen, maka HRT yang dibutuhkan untuk mereduksi nitrogen diperkirakan lebih lama dibandingkan untuk menyaring sedimen yang memerlukan waktu 5-6 menit, namun literatur saat ini belum ada yang menyarankan nilai HRT untuk penyaringan nitrogen dan fosfor bagi *wet swales* (Ekka et al., 2021). Kemudian menurut (Oregon Department of Transportation, 2014) HRT yang lama memberikan peluang paling baik untuk menghilangkan polutan, serta waktu minimum yang diperlukan untuk menyaring polutan pada *swale* adalah 9 menit.

3.1 EFISIENSI PENYARINGAN KANDUNGAN FOSFAT

Pada tahap pertama, ingin dievaluasi kandungan fosfat sebelum dan setelah melewati *non-vegetated swale*. Berdasarkan hasil pengujian kandungan fosfat, maka didapatkan rata-rata hasil uji seperti pada Gambar 4. Konsentrasi masuk larutan NPK berdasar hasil pengukuran menunjukkan kandungan fosfat sebesar 123,77-124,77 mg/l fosfat. Berdasarkan hasil dari pengujian didapat angka penurunan kandungan fosfat yang tinggi pada kedua jenis lapisan *non-vegetated swale* yaitu penurunan sebesar 120 mg/l dari kandungan awal.



Gambar 4. Rata-rata Hasil Uji Kandungan Fosfat

Sehingga, kedua jenis lapisan *non-vegetated swale* yang digunakan pada penelitian ini dapat dikatakan memiliki kemampuan menyaring kandungan fosfat yang tinggi. Sedangkan perbedaan dua jenis ketebalan lapisan pasir dan tanah pada *non-vegetated swale* tampaknya tidak begitu mempengaruhi kemampuan *non-vegetated swale* dalam menyaring kandungan fosfat.

Hasil dari penelitian ini serupa dengan penelitian (Li *et al.*, 2016) yang menggunakan tiga buah *non-vegetated bioswale* untuk pengujian pemurnian kualitas air dengan jenis *packing layer* yang berbeda untuk masing-masing *non-vegetated bioswale* (tersaji dalam Tabel 1). Tiga jenis *packing layer* yang digunakan yaitu campuran *blast furnace slag* dan pasir (BFSS) dengan rasio 1:1, *blast furnace slag* (BFS) saja dan tanah saja (*Soil*), serta digunakannya daun segar platan sebagai *covering layer*. Hasil akhir dari penelitian ini yaitu *non-vegetated bioswale* non-vegetasi mampu menyisihkan lebih dari 95 % total fosfor yang melewatinya. Menurut (Li *et al.*, 2016) penyebab utama berkurangnya total fosfor adalah akibat penyerapan fisik tanah dan media, penyerapan kimia dari pertukaran ion dan penyerapan sedimentasi. Kapasitas penyerapan dari *blast furnace slug* lebih unggul, diikuti oleh campuran *blast furnace slug* dan pasir, kemudian tanah penanaman.

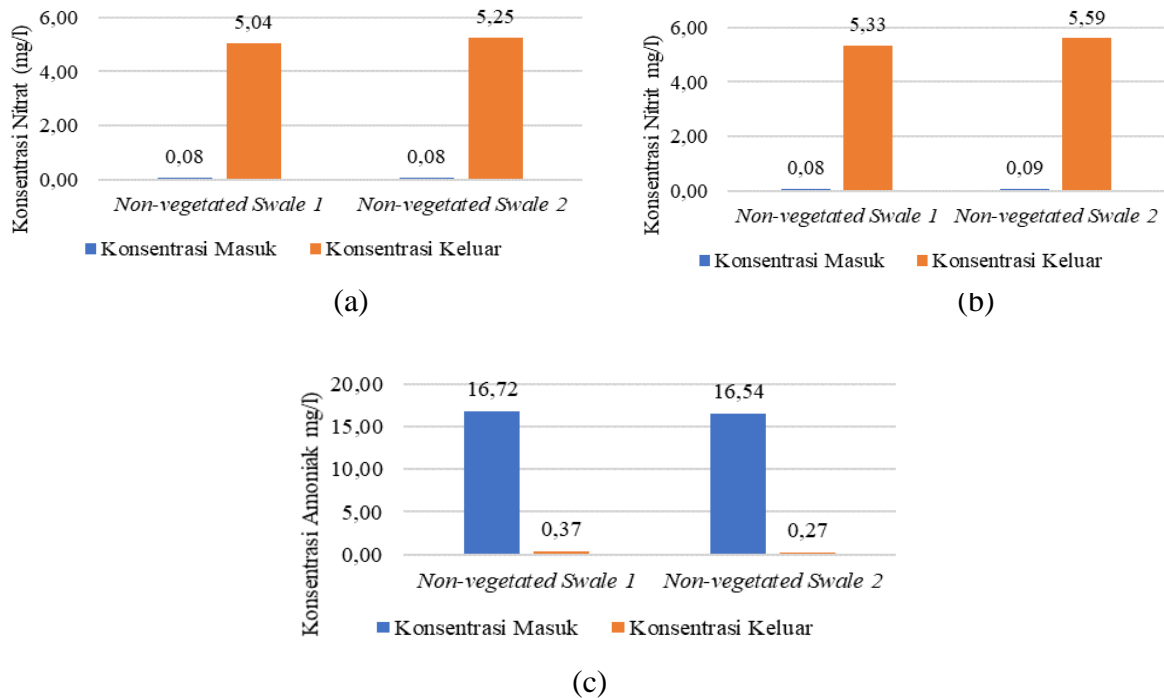
Tabel 1. Lapisan media *non-vegetated bioswale* pada penelitian (Li *et al.*, 2016)

Nomor <i>Non-vegetated Bioswale</i>	8	9	10
<i>Covering layer</i>	5 cm	5 cm	5 cm
<i>Planting soil</i>	30 cm	30 cm	30 cm
<i>Packing layer</i>	BFSS 1:1 40 cm	BFS 1:1 40 cm	<i>Soil</i> 40 cm
<i>Gravel layer</i>	15 cm	15 cm	15 cm

Sedangkan menurut (Ekka *et al.*, 2021) dalam penelitiannya mengenai sintesis dan tinjauan kumpulan literatur tentang *swale*, penyebab dari penurunan kandungan fosfor ini yaitu karena fosfor yang bersifat terikat pada sedimen dapat disaring oleh *swale* melalui proses filtrasi dan sedimentasi, tetapi bagi fosfor yang bersifat terlarut maka tetap tidak tersaring oleh *swale*. (Ekka *et al.*, 2021) mengatakan bahwa pada literatur belum ada desain spesifik *swale* dalam menyaring total fosfor pada air hujan, namun mengalirkan air untuk melewati *engineered media* seperti pada penelitian (Li *et al.*, 2016) telah terdokumentasi sukses dalam mengurangi konsentrasi fosfor. Menurut (Babatunde, Zhao and Zhao, 2010) penyisihan P jangka pendek dan panjang sangat bergantung pada parameter kimia tanah. Fosfat dihilangkan dari larutan tanah melalui reaksi penyerapan dengan kation logam (terutama Al, Fe, Ca) dan pengendapan kimia dalam tanah. Dengan demikian, fitur desain yang menargetkan retensi P harus mencoba mengoptimalkan sifat fisikokimia tanah yang memiliki peran terbesar dalam penyisihan P.

3.2 EFISIENSI PENYARINGAN KANDUNGAN NITRAT, NITRIT DAN AMONIAK

Selanjutnya, evaluasi kandungan nitrat, nitrit dan amoniak dilakukan melalui pengambilan sampel cairan sebelum dan setelah melewati *non-vegetated swale*. Berdasarkan hasil pengujian kandungan nitrat, nitrit dan amoniak maka didapatkan rata-rata hasil uji seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Rata-rata Hasil Uji Kandungan (a) Nitrat, (b) Nitrit dan (c) Amoniak

Konsentrasi masuk larutan NPK yaitu 16,54-16,72 mg/l amoniak serta kandungan nitrat dan nitrit yang kecil yaitu sekitar 0,08-0,09 mg/l. Berdasarkan hasil dari pengujian sampel cair didapat angka kenaikan kandungan nitrat dan nitrit yang tinggi pada kedua jenis lapisan *non-vegetated swale* yaitu kenaikan sekitar 5 mg/l dari kandungan awal. Sedangkan hasil uji sampel cair untuk kandungan amoniak pada kedua jenis *non-vegetated swale* terjadi penurunan yang tinggi yaitu turun sekitar 16 mg/l dari kandungan awal. Dapat diketahui bahwa hasil kandungan nitrat, nitrit dan amoniak pada sampel cair dari kedua jenis *non-vegetated swale* adalah kurang lebih sama.

Kenaikan kandungan nitrat dan nitrit serta turunnya kandungan amoniak seperti pada hasil dari penelitian ini dapat terjadi akibat adanya proses nitrifikasi. Nitrifikasi adalah

proses oksidasi amonium menjadi nitrat yang terjadi dalam dua tahap. Pada tahap pertama, amonium dikonversi menjadi nitrit, oleh bakteri *Nitrosomonas sp.*, menghasilkan empat proton yang dapat meningkatkan keasaman tanah. Pada tahap kedua dan terakhir, nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh *Nitrobacter sp.* bakteri (Tan, 2011).

Berdasarkan penelitian (Marsidi and Herlambang, 2002) mengenai proses nitrifikasi air limbah dengan kandungan amoniak tinggi, diperoleh hasil pengurangan amoniak hingga 98 % pada air limbah sedangkan konsentrasi nitrat dan nitrit mengalami kenaikan akibat dari proses nitrifikasi yang terjadi. Menurut (Sahrawat, 2008) beberapa faktor fisik, lingkungan, dan kimia serta interaksi di antaranya mempengaruhi nitrifikasi tanah secara kompleks. Namun, di antara berbagai faktor, matriks tanah, status kelembaban, aerasi, pH, dan suhu memainkan peran utama dalam nitrifikasi tanah atau menambahkan amonium ke nitrat. Sehingga berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dikatakan bahwa hasil dari pengujian kandungan nitrit, nitrat dan amoniak pada penelitian ini adalah akibat dari terjadinya proses nitrifikasi.

Hasil evaluasi kandungan N ini menunjukkan bahwa kedua *non-vegetated swale* memiliki kemampuan penyaringan N yang belum optimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan yang dapat mengevaluasi pengaruh jenis dan ketebalan media. Selain itu, dapat pula dilakukan penelitian lanjutan pada *swale* atau *bioswale* dengan menggunakan tanaman pada lapisan media tanam. Hendaknya dipilih tanaman yang mudah didapat atau memiliki kemampuan menyerap nitrogen yang baik.

4. KESIMPULAN

Hasil evaluasi kinerja *non-vegetated swale* dalam menyaring fosfat menunjukkan bahwa kedua *non-vegetated swale* memiliki kemampuan menyaring konsentrasi fosfat pada larutan air pupuk NPK yang sangat baik. Kedua *non-vegetated swale* mampu mengurangi sekitar 120 mg/l konsentrasi fosfat yang ada pada larutan air pupuk NPK awal. Penurunan fosfat yang besar ini sejalan dengan literatur dimana penurunan fosfat disinyalir sebagai kombinasi proses reaksi dan adsorpsi pada media tanah.

Hasil evaluasi juga menunjukkan penurunan kandungan amoniak yang besar yaitu sekitar 16 mg/l. Namun, penurunan ini juga dibarengi dengan peningkatan konsentrasi kandungan nitrat dan nitrit sekitar 5 mg/l. Hal ini menunjukkan terjadinya reaksi nitrifikasi dimana

amoniak terkonversi menjadi nitrat dan nitrit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kedua *non-vegetated swale* memiliki kemampuan penyaringan N yang belum optimal.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada atas bantuan dana hibah penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Laboratorium Kimia Laut, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau Bapak Mestika Yunas atas fasilitas dan jasa yang sudah diberikan dalam pengujian spektrofotometri pada sampel cair untuk mendapatkan hasil kandungan fosfat, nitrat, nitrit dan amoniak pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Babatunde, A. O., Zhao, Y. Q., & Zhao, X. H. (2010). Alum sludge-based constructed wetland system for enhanced removal of P and OM from wastewater: Concept, design and performance analysis. *Bioresource Technology*, 101(16) : 6576–6579.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.9-2004 Air dan Air Limbah – Bagian 14: Cara Uji Nitrit (NO₂-N) secara Spektrofotometri.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). SNI 06-6989.30-2005 Air dan Air Limbah – Bagian 30 :Cara Uji Kadar Amonia dengan Spektrofotometer secara Fenat.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 2417-2008 Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 6989.79:2011 Air dan Air Limbah - Bagian 79: Cara Uji Nitrat (NO₃-N) dengan Spektrofotometer UV-visibel secara Reduksi Kadmium.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Ekka, S. A., Rujner, H., Leonhardt, G., Blecken, G. T., Viklander, M., & Hunt, W. F. (2021). Next generation swale design for stormwater runoff treatment: A comprehensive approach. *Journal of Environmental Management*, 279 : 111756.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations .(2018). More people, more food, worse water? - A global review of water pollution from agriculture, FAO of the United Nations & IWMI.

- Hunt, W.F., Davis, A.P., & Traver, R.G. (2012). Meeting Hydrologic and Water Quality Goals through Targeted Bioretention Design. *Journal of Environmental Engineering*, 138(6): 698–707.
- Irvine, J. L & Kim, A. S. (2018). Understanding bioswale as a small water and wastewater treatment plant: A theoretical review. *Desalination and Water Treatment*, 135 : 1–15.
- Li, J., Jiang, C., Lei, T., & Li, Y. (2016). Experimental study and simulation of water quality purification of urban surface runoff using non-vegetated bioswales. *Ecological Engineering*, 95 : 706–713.
- Marsidi, R & Herlambang, A. (2002). Proses Nitrifikasi Dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah Yang Mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(3) : 195–205.
- Morano, V. (2020). Swales and Bioswales. Diakses dari <https://stocktonstormwater.weebly.com/swales--bioswales.html>, pada 25 Oktober 2021.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2016). What is a harmful algal bloom, National Oceanic and Atmospheric Administration. Diakses dari <https://www.noaa.gov/what-is-harmful-algal-bloom>, pada 25 Oktober 2021.
- Oregon Department of Transportation. (2014). Chapter 14: Appendix B - Biofiltration Facilities in *Hydraulic Manual*.
- Peñuelas, J., Poulter, B., Sardans, J., Ciais, P., Velde, M. V. D., Bopp, L., Boucher, O., Godderis, Y., Hinsinger, P., Llusia, J., Nardin, E., Vicca, S., Oberstreiner, M., & Janssens, I. A. (2013). Human-induced nitrogen-phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. *Nature Communications*, 4: 1-10.
- Sahrawat, K. L. (2008). Factors affecting nitrification in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(9–10) : 1436–1446.
- Tan, K. H. (2011). Principles of Soil Chemistry: Fourth Edition. CRC Press.
- Xiao, Q., McPherson, E. G., Zhang, Q., Ge, X., & Dahlgren, R. (2017). Performance of two bioswales on urban runoff management. *Infrastructures*, 2(4) : 1–14.