

Efektivitas Ukuran Blok Campuran Tanah dan *Hydraulic Loading Rate* Pada *Multi Soil Layering* Guna Menurunkan Parameter Fosfat dan Surfaktan Anionik di Usaha Binatu

The Effectiveness of Soil Mix Block Size and Hydraulic Loading Rate in Multi Soil Layering to Reduce Phosphate and Anionic Surfactant Parameter in Laundry Business

Tarikh Azis Ramadani^{1*}, Novi Eka Mayangsari², Mitha Amelia Anjani³

¹ Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{2,3} Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Email: ¹ tarikh@ppns.ac.id, ² noviekam@ppns.ac.id, ³ mithaamelia@student.ppns.ac.id

*Penulis korespondensi: tarikh@ppns.ac.id

Direview: 1 Maret 2023

Diterima: 4 April 2023

ABSTRAK

Usaha binatu merupakan salah satu usaha yang menghasilkan parameter fosfat dan surfaktan anionik yang mengakibatkan eutrofikasi dan pencemaran lingkungan. Parameter fosfat dan surfaktan anionik dapat diturunkan konsentrasinya menggunakan *multi soil layering* dengan dua tahap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh ukuran blok campuran tanah dan *hydraulic loading rate* terhadap penurunan konsentrasi polutan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah andosol, arang sekam padi dan serbuk besi. Lapisan *permeable* menggunakan media kerikil dan perlit. Reaktor terbuat dari akrilik dengan ukuran panjang 50 cm, lebar 15 cm dan tinggi 50 cm. Sistem *multi soil layering* berhasil menurunkan konsentrasi hingga 98,603 % untuk parameter fosfat dan 99,99% untuk parameter surfaktan anionik. Penurunan parameter fosfat dan surfaktan anionik disebabkan oleh proses adsorpsi fisik dan kimia oleh komponen tanah dan arang sekam padi. Penurunan parameter surfaktan anionik juga dibantu oleh proses biodegradasi mikroba dalam tanah.

Kata kunci: binatu, *hydraulic loading rate*, *multi soil layering*, ukuran blok.

ABSTRACT

The laundry business is one of the business that produces phosphate and anionic surfactant parameters that cause eutrophication and environmental pollution. Parameters of phosphate and anionic surfactants can be reduced using *multi soil layering* with two stages. This study aims to analyze the effect of soil mixed block size and *hydraulic loading rate* on reducing pollutant concentration. The materials used in this study are andosol soil, rice husk charcoal and iron powder. The permeable layer uses gravel and perlite media. The reactor is made of acrylic with a length of 50 cm, a width of 15 cm and a height of 50 cm. *Multi soil layering* systems successfully reduce concentrations to 98,603% for phosphate parameters and 99.99% for anionic surfactant parameters. The decrease in phosphate parameters and anionic surfactants is caused by physical and chemical adsorption processes by soil components and rice husk charcoal. The decrease in the parameters of anionic surfactants is also helped by the process of biodegradation of microbes in the soil.

Keywords: block size, *hydraulic loading rate*, laundry, *multi soil layering*.

1. PENDAHULUAN

Usaha binatu merupakan bidang usaha yang berfokus pada jasa pencucian pakaian dan benda sejenis. Usaha binatu akan menghasilkan air limbah selama prosesnya. Air limbah tersebut mengandung beberapa parameter pencemar seperti fosfat. Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 52 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya mengatur mengenai baku mutu air limbah buangan usaha binatu sebesar 10 mg/L untuk parameter fosfat dan 3 mg/L untuk parameter surfaktan anionik. Parameter fosfat akan menyebabkan proses eutrofikasi pada lingkungan yang menyebabkan adanya kontaminasi zat organik maupun anorganik dan menurunkan kualitas air. Parameter surfaktan anionik memiliki sifat beracun yang berbahaya bagi ekosistem. Pencemaran fosfat dan surfaktan anionik berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan jika parameter limbah tersebut tidak diolah dengan baik dan melanggar regulasi baku mutu. Hal ini memerlukan proses pengolahan limbah guna menurunkan parameter pencemar. Dalam prakteknya, terdapat beberapa proses pengolahan yang dapat dipilih, salah satunya adalah *multi soil layering* (MSL). *Multi soil layering* dapat menghilangkan padatan, organik, nitrogen dan fosfor dari berbagai macam sumber pencemaran secara efisien (Shabi dkk, 2022).

Multi soil layering merupakan salah satu proses pengolahan air dengan memanfaatkan tanah yang terdiri dari beberapa lapisan yang berguna sebagai media pengolahan. Lapisan yang terdapat pada pengolahan ini yaitu lapisan *impermeable* dan lapisan *permeable* yang dapat dilaksanakan dengan satu tahapan maupun dua tahapan. *Multi soil layering* memiliki beberapa keuntungan yaitu biaya pembuatan yang murah, memerlukan area kecil, perawatan yang sederhana, dan memiliki aplikasi yang luas (Latrach dkk, 2018).

Performa dari sistem *multi soil layering* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, pH, *hydraulic loading rate*, konfigurasi reaktor, jenis dan struktur media. Ho dan Wang (2015) telah melakukan penelitian mengenai penggunaan berbagai macam material filter dalam *multi soil layering*. Penelitian ini mendapatkan besar penghilangan parameter fosfor dengan besar penyisihan antara 92,1 % hingga 99,2 %. Latrach dkk (2017) melaporkan bahwa penggunaan dua tahapan dalam proses *multi soil layering* dapat menghasilkan hasil yang lebih baik daripada satu tahapan dengan besar penyisihan dengan dua tahapan untuk parameter COD sebesar 91%, BOD sebesar 96%, TSS sebesar 97%, fosfat sebesar 95%, dan amonia sebesar 96%. Selain itu, material yang ditambahkan ke dalam campuran tanah akan memberikan hasil efisiensi yang berbeda. Ait-hmane dkk (2018) menginvestigasi efek penambahan serbuk gergaji, arang, dan serbuk besi pada blok campuran tanah. Hal tersebut memberikan besar penyisihan untuk parameter COD sebesar 91,6%, BOD sebesar 82,63%, TSS sebesar 99,06%, fosfat sebesar 90,06%, dan amonia sebesar 98,58%. Wei dan Wu (2018) melakukan penelitian mengenai variasi media filter pada *multi soil layering* guna mengolah air sungai yang memiliki C/N rasio yang rendah. Penelitian ini mendapatkan bahwa *multi soil layering* dengan media filter menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam menyisihkan parameter ammonia. Sato dkk (2019) melakukan penelitian mengenai evaluasi kinerja *multi soil layering* yang telah beroperasi selama 17 hingga 20 tahun. Pada penelitian ini didapatkan bahwa sistem masih dapat menyisihkan parameter fosfat dan nitrogen dengan baik dan menjanjikan. Song dkk (2019) melakukan penelitian mengenai pengembangan dan evaluasi *multi soil layering* pada sistem pengolahan air limbah terintegrasi secara gravitasi. Penelitian ini menghasilkan sistem pengolahan air limbah terintegrasi secara gravitasi yang inovatif telah berhasil dikembangkan. Sistem *multi soil layering* memiliki kinerja yang baik dalam menghilangkan bahan organik dan nutrisi dalam skala laboratorium. Hariwibowo dkk (2020) meneliti mengenai perbandingan tiga bahan organik yaitu arang tempurung kelapa, arang sekam padi, dan arang tongkol jagung ke dalam sistem *multi soil layering* (MSL) dan masing-masing memberikan nilai efisiensi sebesar sebesar 80%, 72%, dan 63%. Amara dan Fatimah (2020) menginvestigasi penggunaan material tanah dan pasir dalam *multi soil layering* untuk limbah cair industri alkohol tradisional. Penelitian ini disimpulkan metode *multi soil layering* dapat mereduksi parameter BOD sebesar 43,76% dengan menggunakan campuran tanah dan karbon aktif dan 56,26% dengan menggunakan campuran tanah dan pasir sungai.

Hydraulic Loading Rate (HLR) dan debit aliran merupakan salah satu parameter yang dapat mempengaruhi nilai efisiensi selain variasi bahan organik yang digunakan. Adinda dkk (2015) melakukan penelitian mengenai variasi *hydraulic loading rate* dalam *multi soil layering* pada pengolahan air limbah gambut. Pada penelitian ini didapatkan bahwa *multi soil layering* menghasilkan nilai penyisihan parameter logam mangan sebesar 55,83% dan parameter kekeruhan sebesar 63,86%. Lamrouzi dkk (2016) menginvestigasi variasi *hydraulic loading rate* dari sistem dan didapatkan nilai efisiensi hingga sebesar COD 82%, BOD 86%, TSS 89%, fosfat 91% dan amonia 85% pada penggunaan *hydraulic loading rate* sebesar 250 L/m².d. Taouraout (2019) menginvestigasi dan mengaplikasikan penggunaan horizontal *multi soil layering* dan variasi *hydraulic loading rate* pada air limbah domestik. Pada penelitian ini didapatkan sistem memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan parameter BOD₅, COD, TSS dan PO₄³⁻ pada tingkat yang sedang. Putra dan Fitri (2019) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi debit aliran terhadap

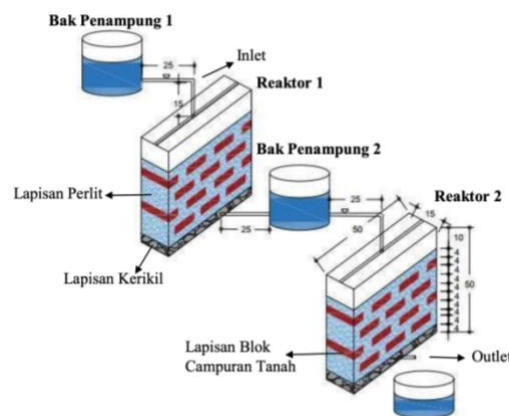
nilai efisiensi penyisihan parameter fosfat dalam air limbah. Hal tersebut memberikan besar efisiensi penyisihan hingga 99%. Zaman (2020) melaksanakan penelitian mengenai penggunaan bahan ramah lingkungan dan variasi HLR dalam sistem *multi soil layering* untuk menurunkan parameter pencemar COD dalam *greywater*. Penelitian ini didapatkan penyisihan parameter COD sebesar 93,44%.

Limbah usaha binatu yang jarang untuk diolah dapat mengakibatkan permasalahan di badan air. Hal tersebut dapat diminimalisir dengan mengolah parameter fosfat dan parameter surfaktan anionik sebagai hasil kegiatan limbah cair usaha binatu. Berdasarkan penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penambahan bahan organik dan variasi *hydraulic loading rate* pada sistem *multi soil layering* dapat meningkatkan nilai efisiensi penghilangan parameter pada air limbah. Penelitian ini menginvestigasi penaruh variasi ukuran blok campuran tanah dan variasi *hydraulic loading rate* terhadap nilai efisiensi penyisihan parameter fosfat dan surfaktan anionik pada sistem *multi soil layering* dengan campuran arang sekam padi dan tanah. Sistem *multi soil layering* diharapkan dapat menjadi solusi alternatif guna menurunkan parameter pencemar sehingga mematuhi Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 52 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan reaktor *multi soil layering* yang tersusun dari akrilik dengan dimensi panjang 50 cm, lebar 15 cm dan tinggi 50 cm yang masing-masing dilengkapi dengan pipa memiliki diameter 0,5 inch. Pipa inlet reaktor ke 1 dihubungkan dengan bak penampung air limbah 1 dan pipa inlet ke 2 terhubung pada bak penampung air limbah 2. Sistem reaktor diletakan secara bertingkat agar air limbah dapat mengalir secara gravitasi. Sistem reaktor *multi soil layering* dapat dilihat pada Gambar-1. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah andosol, arang sekam padi, serbuk besi, kerikil dan perlit. Tanah jenis andosol yang digunakan pada penelitian ini diambil di salah satu daerah pegunungan di Kabupaten Probolinggo. Pengambilan tanah dilaksanakan dengan mencangkul tanah sampai kedalaman 10 cm. Sekam padi yang digunakan adalah hasil sisa penggilingan padi. Arang sekam padi kemudian dikeringkan dan dilakukan proses pengarangan. Arang sekam padi ditumpuk dan diayak menggunakan ayakan ukuran 60 mesh.



Gambar-1. Sistem Reaktor *Multi Soil Layering*

2.2. Pengambilan Sampel

Air limbah berasal dari buangan proses pencucian baju pada usaha binatu skala kecil. Teknik pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.59:2008 mengenai metode pengambilan contoh air limbah. Proses pengambilan sampel menggunakan *grab sample* dan wadah contoh berbahan HDPE.

a. Pembuatan Blok Campuran Tanah dan Penyusunan Lapisan *Multi Soil Layering*

Pembuatan blok tanah dilaksanakan dalam reaktor yang berisi campuran tanah, arang sekam padi, dan serbuk besi menggunakan basis berat kering sebesar 0,7:0,2:0,1. Blok campuran tanah dibuat dengan ukuran sebesar 12 cm x 15 cm x 4 cm, 9 cm x 15 cm x 4 cm dan 6 cm x 15 cm x 4 cm. Penyusunan lapisan dilaksanakan didalam reaktor saat pembuatan blok campuran tanah. Penggambaran dari blok campuran tanah dapat dilihat pada Gambar-2. Reaktor yang digunakan berisi lapisan *permeable* (kerikil dan perlit) dan lapisan blok campuran tanah. Lapisan disusun seperti susunan batu bata dengan tinggi setiap lapisan sebesar

4 cm. Blok campuran tanah diletakan sejajar secara horizontal dengan perbandingan ukuran antara blok tanah dengan perlit sebesar 3:1 dan jarak antar blok sebesar 3,5 cm.



Gambar-2. Penyusunan Lapisan *Multi Soil Layering* dengan Arang Sekam Padi

b. Proses *Multi Soil Layering*

Menyiapkan rangkaian reaktor *multi soil layering* dengan berbagai macam ukuran blok yang sudah ditentukan. Air limbah sejumlah 3 liter ditambahkan ke dalam bak penampung ke 1. Air limbah dialirkan melalui inlet reaktor 1 dan debit diatur menggunakan *flowmeter* sesuai variasi *hydraulic loading rate* yang sudah ditentukan. Hasil olahan ditampung pada bak penampung 2 hingga seluruh air limbah terolah pada reaktor 1. Air limbah dialirkan ke inlet reaktor 2 sesuai dengan variasi *hydraulic loading rate* yang sudah ditentukan. Hasil olahan ditampung pada bak penampung 3 hingga seluruh air limbah terolah pada reaktor 2. Hasil olahan reaktor 2 dilakukan pengujian parameter fosfat dan surfaktan anionik.

2.3. Pengukuran Parameter Fosfat dan Parameter Surfaktan Anionik

Pengujian karakteristik fosfat dan surfaktan anionik digunakan untuk mendapatkan informasi konsentrasi fosfat dan surfaktan anionik sebelum dilakukan proses pengolahan dan sesudah proses pengolahan. Pengujian parameter fosfat mengacu pada SNI 06-6989.31-2005. Konsentrasi fosfat ditentukan secara asam askorbat dan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Pengujian parameter surfaktan anionik mengacu pada SNI 06-6989.51-2005. Konsentrasi surfaktan anionik ditentukan secara metilen biru dan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 652 nm.

2.4. Pengukuran Efisiensi Penyisihan Parameter Fosfat dan Parameter Surfaktan Anionik

Nilai efisiensi penyisihan digunakan mendapatkan informasi mengenai keberhasilan dari sistem *multi soil layering* dalam mereduksi parameter fosfat dan parameter surfaktan anionik. Persamaan berikut digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai efisiensi penyisihan.

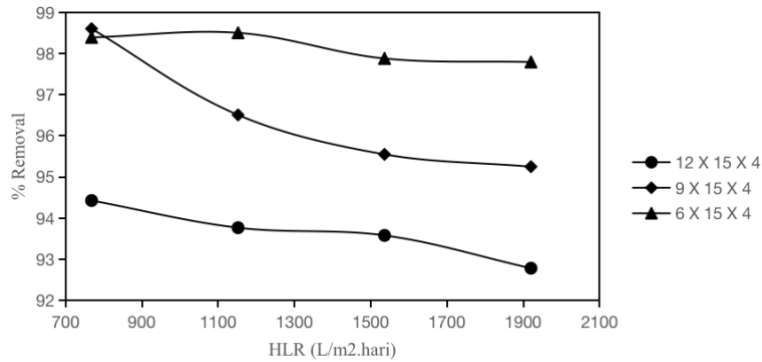
$$(\%)\text{Removal} = \frac{C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}}}{C_{\text{akhir}}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana C_{awal} merupakan konsentrasi awal dari fosfat dan parameter surfaktan anionik sebelum proses dan C_{akhir} merupakan konsentrasi fosfat dan parameter surfaktan anionik setelah proses *multi soil layering*.

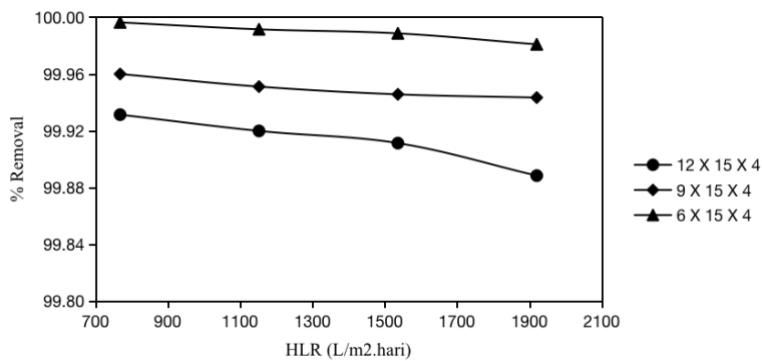
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode *multi soil layering* dengan sistem dua tahap dalam menurunkan kandungan parameter fosfat yang berasal dari usaha binatu. Penelitian dilaksanakan menggunakan arang sekam padi yang menjadi campuran dalam blok campuran tanah. Variasi *hydraulic loading rate* dan ukuran media digunakan dalam menurunkan parameter fosfat dan surfaktan anionik. Konsentrasi awal fosfat sebesar 80,2 mg/L dan surfaktan anionik sebesar 349,1 mg/L.

Gambar-3 menunjukkan hubungan antara efisiensi penyisihan parameter fosfat dengan variasi *hydraulic loading rate* dan ukuran blok campuran tanah. Berdasarkan Gambar-3, efisiensi penyisihan parameter fosfat memiliki kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan ukuran blok campuran tanah dan *hydraulic loading rate*. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi untuk parameter fosfat didapatkan sebesar 98,603 %. Hal tersebut juga terjadi pada penelitian Lamzouri dkk (2016) dimana menghasilkan besar penyisihan sebesar 91%. Latrach, L., dkk (2018) menghasilkan penyisihan parameter sebesar 98%. Putra (2019) memperoleh besar penyisihan hingga 99,87%.



Gambar-3. Hubungan Efisiensi Penyisihan Parameter Fosfat dengan Variasi *Hydraulic Loading Rate* dan Ukuran Blok Tanah



Gambar-4. Hubungan Efisiensi Penyisihan Parameter Surfaktan Anionik dengan Variasi *Hydraulic Loading Rate* dan Ukuran Blok Tanah

Gambar-4 menunjukkan hubungan antara efisiensi penyisihan parameter surfaktan anionik dengan variasi *hydraulic loading rate* dan ukuran blok campuran tanah. Gambar-4 memberikan informasi efisiensi penyisihan parameter surfaktan anionik cenderung menurun seiring dengan peningkatan ukuran blok campuran tanah dan *hydraulic loading rate*. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi untuk parameter surfaktan anionik adalah sebesar 99,99%. Hadrah dkk (2019) mendapatkan hasil yang serupa dengan besar penyisihan surfaktan anionik sebesar 95%.

Kecenderungan penurunan kandungan parameter fosfat dan surfaktan anionik terjadi pada variasi ukuran blok campuran tanah terutama ketika kondisi ukuran blok campuran tanah yang kecil. Hal tersebut diakibatkan karena ukuran blok campuran tanah dengan ukuran yang kecil akan menghasilkan luas kontak media yang semakin besar pada sistem *multi soil layering*. Penambahan luas kontak media akan meningkatkan efisiensi penyisihan parameter fosfat dan surfaktan anionik dalam air limbah. Air limbah akan berkontak dengan blok campuran tanah sehingga akan terjadi proses penyerapan parameter pencemar oleh media tanah dan arang sekam padi sebagai komponen *multi soil layering*.

Nilai efisiensi penyisihan fosfat dan surfaktan anionik cenderung meningkat ketika *hydraulic loading rate* dari sistem cenderung diturunkan. *Hydraulic loading rate* sistem akan mempengaruhi waktu kontak dari air limbah dengan media *multi soil layering*. Air limbah dalam sistem akan mengalir secara perlahan sejalan dengan besar *hydraulic loading rate* yang rendah. Hal tersebut mengakibatkan proses penyisihan parameter fosfat dan surfaktan dengan lebih maksimal karena waktu kontak yang cukup. *Hydraulic loading rate* memiliki efek yang signifikan dalam proses penghilangan parameter fosfat dan surfaktan dalam sistem *multi soil layering* (Sato dkk, 2011).

Dalam mekanisme *multi soil layering*, proses penurunan kandungan parameter fosfat akibat proses absorpsi fisik dan kimia antara fosfat dan kandungan Fe yang ada dalam media tanah (Sato dkk, 2019). Kapasitas adsorpsi akan berkorelasi positif dengan kandungan komponen Fe yang ada dalam tanah (Lamzouri dkk, 2016). Komponen Fe yang terkandung dalam blok campuran tanah akan larut dan luruh ke *permeable layers*. Komponen Fe akan teroksidasi menjadi Fe(III) yang kemudian terbentuk Fe(III) hidroksida dan akhirnya berikatan dan mengendap dengan fosfat (An dkk, 2016). Reaksi yang terjadi (Tomaro dkk, 2009) adalah sebagai berikut:



Proses mekanisme penurunan surfaktan anionik dipengaruhi oleh mekanisme biodegradasi yang terjadi pada media tanah yang mengandung mikroorganisme dalam *multi soil layering*. Hal ini dikarenakan ketika struktur molekul surfaktan didegradasi oleh mikroorganisme yang menyebabkan hilangnya sifat aktif permukaan (Paulo, 2014). Kandungan mineral silika dalam tanah andosol akan membantu proses penurunan parameter pencemar (Sukarman & Dariah, 2014). Komponen ini akan menurunkan parameter pencemar melalui proses adsorpsi. Arang sekam padi yang ditambahkan dalam blok campuran tanah akan membantu proses penyerapan parameter fosfat dan surfaktan anionik dalam air limbah. Kandungan silika yang terkandung dalam arang sekam padi akan membantu proses pemisahan zat pencemar yang terkandung di dalam air limbah. Proses pemisahan dilakukan dengan cara pengikatan zat pencemar di permukaan silika (Anjani dkk, 2021). Komponen campuran dalam blok tanah yang memiliki karakteristik luas permukaan yang besar dan memiliki mikropori akan berkontribusi dalam proses penurunan parameter fosfat dalam air limbah (Zhou dkk, 2021).

4. KESIMPULAN

Sistem *multi soil layering* dengan variasi ukuran blok campuran tanah dan *hydraulic loading rate* terbukti dapat menurunkan parameter fosfat dan parameter surfaktan anionik dari air limbah binatu. Nilai efisiensi penyisihan tertinggi didapatkan pada kondisi ukuran 9 cm x 15 cm x 4 cm dengan *hydraulic loading rate* sebesar 750 L/m².hari sebesar 98,603 % untuk parameter fosfat dan kondisi ukuran 6 cm x 15 cm x 4 cm dengan *hydraulic loading rate* sebesar 750 L/m².hari sebesar 99,99% untuk parameter surfaktan anionik. Penurunan parameter fosfat dan surfaktan anionik disebabkan oleh proses adsorpsi fisik dan kimia oleh komponen tanah dan arang sekam padi. Penurunan parameter surfaktan anionik juga dibantu oleh proses biodegradasi mikroba dalam tanah.

SARAN

Dari penelitian ini didapatkan saran guna menunjang penelitian selanjutnya, yaitu perlu dilaksanakan penggunaan komposisi baru maupun material komposit yang digunakan dalam campuran tanah di sistem *multi soil layering*, kombinasi dengan metode pengolahan lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinda, T., dkk (2015). Metoda Multi Soil Layering dalam Pengolahan Air Gambut dengan Variasi Hydraulic Loading Rate dan Material Organik pada Lapisan Anaerob. *Jom FTEKNIK*, 2(1), 1-7.
- Amara, B.M dan Fatimah, S (2020). Penurunan Kadar Biological Oxygen Demand (BOD) dan Amonia Menggunakan Proses Multi Soil Layering (MSL) Pada Limbah Cair Alkohol Tradisional. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(2), 82-87.
- An, C.J. dkk (2016). Multi-Soil-Layering Systems for Wastewater Treatment in Small and Remote Communities. *Journal of Environmental Informatics*, 27(2), 131-144, <https://doi.org/10.3808/jei.201500328>.
- Anjani, M.A, dkk (2021). Pengaruh Jenis Bahan Campuran dalam Media Multi Soil Layering (MSL) terhadap Penurunan Fosfat dan Surfaktan Anionik pada Air Limbah Laundry. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 4 (1), 201-205.
- Ait-hmane, A., dkk (2018). Feasibility of Olive Mill Wastewater treatment by Multi-Soil-Layering Ecotechnology. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9(4), 1223-1233, <https://doi.org/10.26872/jmes.2017.9.4.134>.
- Hadrah, dkk (2019). Analisis Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Laundry dengan Multi Soil Layering (MSL), *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(1), 36-41, Universitas Batanghari, <http://dx.doi.org/10.33087/daurling.v2i1.22>.
- Haribowo R., Prayogo T.B., Shaleha N.N., Hafni K.N (2020). Performance of Multi-Soil-Layering (MSL) Urban Domestic Wastewater Treatment System. *Civil and Environmental Science Journal*, III(1), 037-050, <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2020.00301.5>.
- Ho,C.C., Wang, P.H. (2015) Efficiency of a Multi-Soil-Layering System on Wastewater Treatment Using Environment-Friendly Filter Materials. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(3), 3362-3380, <https://doi.org/10.3390/ijerph120303362>.
- Ishiguro, M & Koopal, L.K. (2016). Surfactant Adsorption to Soil Components and Soils. *Advances in Colloid and Interface Science*, 231(1), 59-102, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.01.006>.

- Lamzouri, K., dkk (2016). Application of Multi-soil-layering Technique for Wastewater Treatment in Moroccan Rural Areas: Study of the Operation Process for an Engineering Design. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 7(2), 579-585.
- Latrach, L., dkk (2017). Two-stage Vertical Flow Multi-soil-layering (MSL) Technology for Efficient Removal of Coliforms and Human Pathogens from Domestic Wastewater in Rural Areas Under Arid Climate. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(1), 64-80, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.10.004>.
- Latrach, L., dkk (2018). Optimization of Hydraulic Efficiency and Wastewater Treatment Performances Using a New Design of Vertical Flow Multi-Soil- Layering (MSL) Technology. *Ecological Engineering*, 117(1), 140-152, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.003>.
- Paulo, A (2014). Anaerobic Degradation of Anionic Surfactants by Denitrifying Bacteria. Thesis. Wageningen University.
- Putra, A. dan W. E. Fitri (2019). Efektivitas Multi Soil Layering dalam Mereduksi Limbah Cair Industri Kelapa. *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 2(2), 1–15, <http://dx.doi.org/10.31602/dl.v2i2.2394>.
- Sato, K, dkk (2011). Quantitative Evaluation of Treatment Processes and Mechanisms of Organic Matter, Phosphorus, and Nitrogen Removal in a Multi-Soil-Layering System, *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(1), 475-486, <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.590944>.
- Sato, K, dkk (2019). Evaluation of Long- Term Wastewater Treatment Performances in Multi-Soil-Layering Systems in Small Rural Communities, *Applied and Environmental Soil Science*, 2019(1), 1-11, <https://doi.org/10.1155/2019/1214368>.
- Shabi, S, dkk (2022). Multi-Soil-Layering, the Emerging Technology for Wastewater Treatment: Review, Bibliometric Analysis, and Future Directions, *Water*, 14(22), 1-32, <https://doi.org/10.3390/w14223653>.
- Song, P., dkk (2018). Treatment of Rural Domestic Wastewater Using Multi-soil-layering Systems: Performance Evaluation, Factorial Analysis and Numerical Modeling. *Science of The Total Environment*, 644(1), 536–546. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.331.
- Song, P., dkk (2019). Performance Analysis and Life Cycle Greenhouse Gas Emission Assessment of an Integrated Gravitational-flow Wastewater Treatment System for Rural Areas. *Environ Sci Pollut Res* 26, 25883–25897 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05746-2>.
- Sukarman & Dariah, A. (2014). Tanah Andosol di Indonesia: Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya untuk Pertanian. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Taouraout, A, dkk (2019). Hydraulic Load Rates Effect on The Performance of Horizontal Multi-Soil-Layering to Treat Domestic Wastewater in Rural Areas of Morocco. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 10(5), 442-430.
- Tomaro, D, dkk (2009). Advanced Phosphorus Removal Study Guide. Wisconsin Department of Natural Resources Bureau of Science Services.
- Wei, C., & Wu, W. (2018). Performance of single-pass and by-pass multi-step multi-soil-layering systems for low-(C/N)-ratio polluted river water treatment. *Chemosphere*, 206 (1), 579–586, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.035>
- Zaman, B dan Oktiawan, W (2020). Efficiency of multi soil layering (MSL) system in a household scale of wastewater treatment using environmental friendly materials. *SUSTINERE: Journal of Environment & Sustainability*, 4(1), 33-42, <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v4i1.101>.
- Zhou, Q, dkk (2021). Enhanced Pollutant Removal from Rural Non-Point Source Wastewater Using a Two-Stage Multi-Soil-Layering System with Blended Carbon Sources: Insights into Functional Genes, Microbial Community Structure and Metabolic Function. *Chemosphere*, 275(1), 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130007>.