



"Tema: 7 (Ilmu Dasar dan Rekayasa Keteknikan)"

**EFEKTIVITAS PENURUNAN KADAR LINEAR ALKYL BENZENE
SULFONATE DAN FOSFAT PADA LIMBAH CAIR LAUNDRY
MENGUNAKAN SISTEM MULTI SOIL LAYERING**

Irmanto¹, Anita Wulandari², Santi Nur Handayani³, dan Rina Listiani⁴

¹Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

²Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

³Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

⁴Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

Email: irmantoz@gmail.com

ABSTRAK

Usaha *laundry* memberikan berbagai macam keuntungan, seperti memudahkan kegiatan mencuci dan menyetrika pakaian serta memberikan lapangan pekerjaan. Namun, limbah yang dihasilkan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Salah satu cara yang dapat digunakan dalam mengatasi pencemaran akibat pembuangan limbah cair *laundry* yaitu menggunakan metode *Multi Soil Layering* (MSL). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan sistem MSL dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat, mengetahui pengaruh penambahan aerasi, dan menentukan persentase efektivitas sistem MSL. MSL merupakan suatu metode pengolahan limbah cair yang memanfaatkan fungsi tanah sebagai media pengolahannya. Metode ini dibuat dalam bak akrilik yang terdiri dari lapisan anaerob (campuran tanah andisol dan arang kayu) dan lapisan aerob (zeolit dan kerikil) yang disusun dalam pola bata yang dikembangkan dengan penambahan aerasi. Air limbah dialirkan ke dalam sistem MSL pada kecepatan pengisian $480 \text{ L.m}^{-2}\text{hari}^{-1}$ dan diberikan aerasi dengan variasi 0, 2, 4, dan 6 L/menit untuk mengetahui aerasi optimum yang nantinya digunakan dalam menentukan efektivitas sistem MSL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan sistem MSL dapat menurunkan kadar LAS dan fosfat secara optimum pada penambahan aerasi 6 L/menit. Dengan efektivitas sistem MSL dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat masing-masing sebesar 98,663% dan 97,241%.

Kata kunci: Limbah Cair *Laundry*, LAS, Fosfat, *Multi Soil Layering*, Aerasi



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

ABSTRACT

Business Laundry provides various kinds of benefits, such as facilitating the activities of washing and ironing clothes and providing jobs. However, the waste generated can cause environmental pollution. One method that can be used to overcome pollution due to the disposal of laundry wastewater is to use the Multi Soil Layering (MSL) method. The purpose of this research was to determine the use of the MSL system in reducing the concentration of LAS and phosphate, the effect of adding aeration, and the percentage of effectiveness of the MSL system. MSL is a method of wastewater treatment that utilizes the soil's function as a processing medium. This method was made in an acrylic bath consisting of an anaerobic layer (a mixture of andisol soil and wood charcoal) and an aerobic layer (zeolite and gravel) arranged in a brick pattern which developed by adding aeration. The liquid waste laundry flows into the MSL system at a filling speed of $480 \text{ L.m}^{-2}\text{hari}^{-1}$ with added variations of aeration 0, 2, 4, and 6 L/minute to determine the optimum aeration needed by the system, then specify the effectiveness of the MSL system. The results of the research show that the processing of liquid waste laundry using the MSL system can reduce the concentration of LAS and phosphate optimally at the additional aeration of 6 L/minute. The effectiveness of the MSL system in reducing LAS and phosphate concentrations in laundry wastewater was 98.663% and 97.241%, respectively.

Keywords: Liquid Waste Laundry, LAS, Phosphate, Multi Soil Layering, Aeration.

PENDAHULUAN

Salah satu usaha mikro, kecil dan menengah (UMKM) yang semakin populer di lapisan masyarakat adalah usaha *laundry*. Menjamurnya usaha *laundry* tidak hanya di kota-kota besar, namun kini usaha tersebut juga banyak ditemukan di daerah pedesaan. Desakan kebutuhan ekonomi yang semakin tinggi menyebabkan masyarakat mau tidak mau dituntut lebih efektif dan efisien dalam melakukan pekerjaan. Kesibukan masyarakat dalam upaya pemenuhan kebutuhan hidup mengakibatkan tidak adanya waktu untuk menyelesaikan pekerjaan rumah terutama mencuci dan menyetrika pakaian, dimana sebagian masyarakat menganggap kegiatan tersebut banyak memakan waktu dan menguras tenaga (Yuliana *et al.*, 2020).

Keberadaan usaha *laundry* memberikan berbagai macam keuntungan, misalnya memudahkan pekerjaan rumah tangga khususnya kegiatan mencuci dan menyetrika, serta menyediakan lapangan pekerjaan baru. Akan tetapi, keuntungan yang diperoleh tidak sebanding dengan kualitas lingkungan yang dihasilkan. *Laundry* merupakan aktivitas mencuci pakaian menggunakan air dan detergen. Meningkatnya permintaan jasa *laundry* menyebabkan tingginya pemakaian detergen yang sebanding dengan limbah yang dihasilkan. Limbah dari kegiatan *laundry* mengandung detergen yang harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang. Akan tetapi, pada prakteknya kebanyakan para penyedia jasa *laundry* akan langsung membuang limbahnya ke saluran *drainase* atau



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

badan air penerima tanpa melalui proses pengolahan. Kandungan detergen yang terdapat dalam limbah cair *laundry* tersebut apabila tidak melalui proses pengolahan sebelum dibuang akan masuk ke sungai, terakumulasi di laut dan pada akhirnya menyebabkan pencemaran lingkungan (Larasati *et al.*, 2021).

Detergen adalah produk pembersih hasil penyempurnaan dari sabun yang memiliki kualitas pembersih lebih baik dibandingkan sabun serta memiliki kinerja tinggi dalam mengatasi air sadah dan larutan asam (Zoller, 2004). Elemen utama penyusun detergen terdiri dari surfaktan sebagai bahan dasar sekitar 20–30%, bahan *builders* (senyawa fosfat) sekitar 70–80% dan bahan aditif (pemutih, pewangi dan pelembut) sekitar 2–8% (Apriyani, 2017). Masuknya detergen ke perairan akibat pembuangan limbah kegiatan *laundry* tanpa melalui proses pengolahan berdampak negatif bagi lingkungan. Beberapa dampak negatif yang disebabkan oleh detergen yaitu terjadinya kenaikan pH air seiring bertambahnya limbah yang berpengaruh pada kehidupan biota air, bahan septik yang terkandung bersifat toksik hingga memicu kematian bagi organisme air, dan terdapat bahan-bahan yang tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme (Wardhana, 1995). Tingginya akumulasi detergen juga berdampak pada estetika lingkungan, karena adanya busa dan munculnya eutrofikasi (yaitu pertumbuhan tanaman air secara tidak terkendali) di permukaan perairan tersebut. Permukaan perairan yang tertutup oleh busa dan tumbuhan air dapat menghalangi masuknya sinar matahari dan menghambat proses fotosintesis sehingga mengganggu siklus hidup biota air, serta menghambat pertukaran oksigen dalam air karena permukaan tertutup oleh busa dan tumbuhan, yang menyebabkan kadar oksigen terlarut dalam air menjadi rendah (Yuliana *et al.*, 2020).

Surfaktan atau *surface active agents* merupakan bahan dasar penyusun detergen yang mampu menurunkan tegangan permukaan air. Kemampuan tersebut banyak dimanfaatkan sebagai agen pengangkat kotoran pada permukaan bahan yang larut maupun tidak larut dalam air (Sánchez-Martín *et al.*, 2012). Jenis surfaktan yang paling banyak digunakan adalah surfaktan anionik, surfaktan ini memiliki kemampuan pembersih yang kuat, ekonomis dan mudah diperoleh (Utomo *et al.*, 2018). Salah satu golongan surfaktan anionik yang umum terkandung dalam detergen saat ini adalah *Linear Alkylbenzene Sulfonate* atau LAS. Elemen penting kedua setelah surfaktan adalah fosfat, kandungan fosfat dalam limbah cair *laundry* berasal dari *Sodium Tripolyphosphate* atau STPP. STPP sebagai bahan *builders* berfungsi sebagai bahan yang mampu menghilangkan mineral kesadahan air, sehingga detergen dapat bekerja secara optimum (Zairinayati & Shatriadi, 2019).

Pengolahan limbah cair *laundry* dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologis. Pengolahan secara fisika, hanya mengubah bentuk limbah menjadi *secondary waste* yang nantinya memerlukan pengolahan lebih lanjut. Pengolahan secara kimia, yaitu dengan penambahan bahan kimia, dimana membutuhkan biaya operasional cukup tinggi, akibatnya biaya pengolahan menjadi tinggi juga. Pengolahan secara biologis dapat menggunakan katalis mikroba sebagai pengurai, namun terdapat beberapa produk yang tidak dapat diuraikan menjadi molekul sederhana (Ginting, 2007).

Salah satu metode pengolahan limbah cair yang menjanjikan adalah metode *Multi Soil Layering* atau MSL. MSL merupakan metode pengolahan air limbah yang memanfaatkan kemampuan tanah sebagai media pengolahan air limbah. MSL dikenal sebagai metode sederhana, memiliki pengoperasional yang mudah, serta ramah lingkungan, sebab



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"

17-18 Oktober 2023

Purwokerto

menggunakan bahan-bahan alam yang mudah diperoleh. Reaktor MSL yang digunakan terdiri dari lapisan anaerob dan lapisan aerob. Lapisan anaerob dapat berupa tanah andisol yang berasal dari daerah pegunungan, serbuk gergaji, arang kelapa dan material lainnya, sedangkan lapisan aerob dapat berupa kerikil atau batuan lainnya (Masunaga *et al.*, 2007). Penelitian sebelumnya dilaporkan bahwa sistem MSL dengan perendaman dasar mikroba pada blok campuran tanah paling dasar dan aerasi menunjukkan kinerja yang baik dalam penurunan *Chemical Oxygen Demand* atau COD dan *Biochemical Oxygen Demand* atau BOD₅ sebesar 98,53% dan 93,66%; penurunan total fosfat pada rentang 97,97–100%; penurunan nitrogen pada NH₄⁺ pada rentang 89,96–100%; dan penurunan total nitrogen pada rentang 51,11–64,44% pada air limbah domestik pedesaan (Song *et al.*, 2018). Pengolahan air limbah domestik daerah perkotaan padat penduduk dengan sistem MSL menunjukkan efisiensi penurunan *Total Suspended Solids* atau TSS, *Total Dissolved Solids* atau TDS, pH, *Dissolved Oxygen* atau DO, kekeruhan dan Daya Hantar Listrik atau DHL masing-masing sebesar 64,55%; 24,52%; 4,89%; 81,88%; 76,69% dan 31,77% (Haribowo *et al.*, 2019). Penurunan kadar COD, BOD, logam berat dan pH air tanah menggunakan sistem MSL dengan berbagai sumber arang aktif yaitu serbuk gergaji menurunkan COD, Pb dan Fe sebesar 31,16%; 26,74% dan 46,94%; sekam padi dapat menurunkan BOD dan meningkatkan pH sebesar 73,16% dan 53,57%; serta batok kelapa menurunkan Hg sebesar 70,75% (Mairizki & Putra, 2021).

Limbah cair *laundry* mengandung berbagai macam bahan organik yang berasal dari penggunaan detergen. Pembuangan limbah tanpa melalui proses pengolahan mengakibatkan tingginya kandungan bahan organik di perairan yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, seperti pendangkalan perairan dan terhambatnya transfer oksigen (Hadrah *et al.*, 2019; Zairinayati & Shatriadi, 2019). Oleh sebab itu, pembuangan limbah cair *laundry* harus melalui proses pengolahan. Salah satunya yaitu menggunakan sistem MSL yang dikembangkan dengan penambahan aerasi. Sistem MSL terdiri dari lapisan anaerob dan lapisan aerob yang kinerjanya dipengaruhi oleh komponen penyusun lapisan tersebut (Sato *et al.*, 2002), sedangkan aerasi dapat meningkatkan proses penguraian bahan organik pada air limbah (An *et al.*, 2016). Berdasarkan latar belakang, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan sistem *Multi Soil Layering* dengan penambahan aerasi dalam menurunkan kadar *Linear Alkylbenzene Sulfonate* dan fosfat limbah cair *laundry*.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Desember 2022 sampai dengan bulan Mei 2023 di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah bak akrilik ukuran 50 cm × 20 cm × 80 cm, pompa udara (aerator), Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1601, timbangan analitik dan alat-alat gelas.

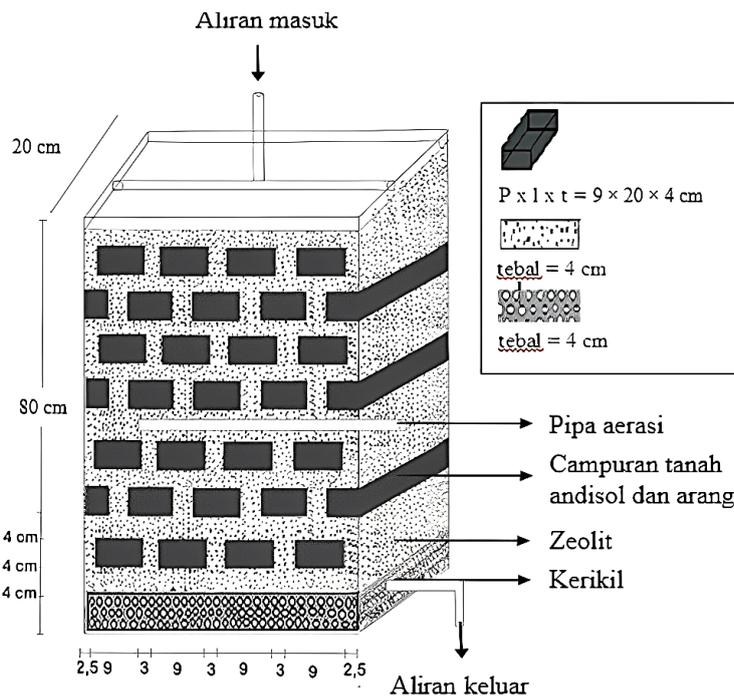
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair *laundry*; zeolit; kerikil; tanah andisol; arang kayu; kain putih; paralon; aquades; serbuk LAS atau C₁₂H₂₅OSO₃Na (p.a.); indikator fenoltalein; NaOH (p.a.); H₂SO₄ (p.a.); indikator biru metilen; CHCl₃ (p.a.); NaH₂PO₄·H₂O (p.a.); i-C₃H₇OH; KH₂PO₄ (p.a.); (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O (p.a.); NH₄VO₃ (p.a.) dan HNO₃ (p.a.).

Pengambilan sampel limbah cair laundry

Sampel limbah cair *laundry* diambil dari kegiatan usaha *laundry* rumahan di Jln. Jatiwinangun, Purwokerto Timur. Sampel limbah ditempatkan dalam jerigen bertutup rapat dan disimpan dalam suhu ruang.

Pembuatan sistem MSL

Instalasi sistem *Multi Soil Layering* (MSL) dibuat dari bak akrilik berukuran 50 cm × 20 cm × 80 cm dengan kran alir pada bagian bawah. Dasar bak diisi batu kerikil (berdiameter 1–2 cm) dengan ketinggian 4 cm, yang seluruh permukaannya ditutup dengan busa filter. Lapisan kedua diisi dengan zeolit (berdiameter 1–2 mm) sampai ketinggian 4 cm. Lapisan ketiga berupa blok campuran tanah berukuran 4 cm × 9 cm × 20 cm yang dipasang sejajar pada jarak masing-masing 3 cm. Blok campuran tanah dibuat dari campuran tanah andisol dan arang kayu (4:1) yang dicetak menggunakan cetakan kayu lalu dipadatkan dan dibungkus dengan kain putih. Lapisan-lapisan selanjutnya diisi dengan cara yang sama membentuk susunan bata. Pada lapisan kedelapan (berada pada lapisan zeolit) dipasangkan pipa aerasi berdiameter 1,5 cm dengan jarak antarlubang 5 cm dan lebar lubang 0,5 cm. Lapisan terakhir dilapisi kembali dengan busa filter dan dipasangkan paralon berbentuk T yang sudah dilubangi dengan jarak 5 cm antarlubang. Instalasi sistem MSL disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Instalasi sistem MSL

Penentuan aerasi optimum limbah cair laundry ke dalam sistem MSL

- Penentuan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry* sebelum diolah dengan sistem MSL (konsentrasi sebelum) Limbah cair *laundry* dialirkan selama 24 jam/hari dengan kecepatan pengisian 480 L.m⁻²hari⁻¹, dianalisis sesuai dengan prosedur dan pengukuran dilakukan secara duplo.
- Penentuan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry* pada berbagai variasi aerasi setelah diolah dengan sistem MSL (konsentrasi sesudah)

Limbah cair *laundry* dialirkan selama 24 jam/hari dengan kecepatan pengisian 480 L.m⁻²hari⁻¹.



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

Aerasi dilakukan dengan cara mengalirkan udara ke dalam sistem MSL dengan variasi aerasi 0, 2, 4, dan 6 L/menit. Limbah cair *laundry* setelah diolah dianalisis sesuai dengan prosedur analisis, pengukuran dilakukan secara duplo dan penyamplingan dilakukan setiap dua hari sekali. Penurunan persentase kadar LAS dan fosfat dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Penurunan kadar (\%)} = \frac{\text{konsentrasi sebelum} - \text{konsentrasi sesudah}}{\text{konsentrasi sebelum}} \times 100\%$$

Penentuan efektivitas sistem MSL dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry*

Limbah cair *laundry* dialirkan dengan kecepatan pengisian 480 L.m⁻²hari⁻¹ dan aerasi optimum ke dalam sistem MSL untuk mengetahui persentase penurunan kadar LAS dan fosfat. Proses penyamplingan dilakukan 5 hari sekali selama 30 hari (6 kali sampling). Efektivitas sistem MSL dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat ditentukan dari hasil rata-rata persentase penurunan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan sistem *Multi Soil Layering* (MSL) yang dikembangkan dengan penambahan aerasi untuk mengetahui penurunan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry*. Penambahan aerasi dilakukan dengan berbagai variasi untuk menentukan aerasi optimum pada sistem MSL. Aerasi optimum yang diperoleh nantinya digunakan pada penentuan efektivitas sistem MSL dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry* pada proses pengolahan selama 30 hari.

Karakteristik Sampel Limbah Cair *Laundry*

Limbah cair *laundry* pada penelitian ini berasal dari kegiatan usaha *laundry* di jalan Jatiwinangun, Kecamatan Purwokerto Timur. Sampel yang diambil ditempatkan dalam jerigen tertutup rapat dan disimpan dalam suhu ruang, untuk melindungi sampel dari kontaminasi luar dan menjaga kualitas sampel se asli mungkin. Sebelum dilakukan proses pengolahan menggunakan sistem MSL, sampel terlebih dahulu dianalisis untuk mengetahui karakteristik awal dari limbah cair *laundry*. Pengujian dilakukan terhadap parameter pencemar LAS dan fosfat, kemudian hasilnya dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Hasil uji dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil uji awal limbah cair *laundry*

| Parameter | Hasil Analisis (mg/L) | Baku Mutu (mg/L) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| Surfaktan Anionik (LAS) | 5,550 | 3 |
| Fosfat | 44,054 | 2 |

Berdasarkan hasil pengujian awal limbah yang disajikan pada **Tabel 1** dapat dilihat bahwa kadar parameter LAS dan fosfat berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Tingginya kadar LAS dan fosfat dalam limbah cair *laundry* apabila langsung dibuang ke perairan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. Oleh sebab itu, sebelum dibuang ke lingkungan limbah cair *laundry* harus melalui tahapan pengolahan. Salah satu metode pengolahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggunaan sistem MSL.

Pembuatan Sistem MSL

Penggunaan sistem MSL dapat menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi masuknya bahan pencemar limbah cair *laundry* ke lingkungan. Penelitian ini menggunakan sistem *Multi Soil Layering* atau MSL dalam upaya untuk menurunkan kadar LAS dan fosfat dalam limbah



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

cair *laundry* sebelum dibuang ke lingkungan penerima. MSL merupakan metode pengolahan limbah cair dengan memanfaatkan kapasitas tanah sebagai sarana yang digunakan dalam menyisihkan parameter pencemar pada limbah cair tersebut (Latrach *et al.*, 2016). MSL juga dikenal sebagai metode pengolahan sederhana, pengoperasian dan pengontrolan yang mudah, serta ramah lingkungan. Sistem MSL ini dibuat dengan cara menyusun lapisan campuran tanah dan lapisan batuan dalam sebuah bak yang disusun seperti susunan batu bata. Lapisan penyusun inilah yang menjadi faktor penting dalam proses pengolahan limbah (Pawestri *et al.*, 2020).

Pembuatan sistem MSL pada penelitian ini dibuat dalam sebuah bak akrilik berukuran 50 cm × 20 cm × 80 cm dengan bahan penyusun yang terdiri dari lapisan anaerob (lapisan campuran tanah dan arang kayu) dan lapisan aerob (lapisan zeolit dan kerikil). Lapisan anaerob terbuat dari campuran tanah andisol dan arang kayu dengan perbandingan 4:1. Campuran tersebut kemudian dicetak dan dipadatkan, lalu dibungkus menggunakan kain putih. Lapisan aerob terdiri dari zeolit berdiameter 1–2 mm dan kerikil berdiameter 1–2 cm. Lapisan-lapisan tersebut kemudian disusun ke dalam bak akrilik hingga membentuk susunan bata. Penggunaan bahan penyusun yang berbeda dalam pembuatan sistem MSL memberikan respon fungsi yang berbeda pula. Selain itu, pada penelitian ini juga menambahkan pipa aerasi sebagai sumber oksigen untuk meningkatkan kinerja mikroorganisme tanah dalam mendekomposisi bahan organik yang terkandung dalam limbah cair (Wakatsuki *et al.*, 1993). Fungsi bahan-bahan penyusun sistem MSL dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Fungsi bahan penyusun sistem MSL

| Bahan penyusun | Fungsi |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tanah Andisol | Sebagai filter dan habitat bagi mikroorganisme. |
| Arang Kayu | Sebagai adsorben dan sumber karbon bagi mikroorganisme |
| Zeolit | Sebagai pengisi ruang kosong antara lapisan campuran tanah dan sisi bak, dapat meningkatkan penyebaran distribusi limbah, sebagai media adsorben, media penukar ion, serta sebagai media imobilisasi yang dapat memberikan keuntungan bagi pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme. |
| Kerikil | Sebagai celah agar sistem tidak mengalami penyumbatan, untuk penyangga bagian bawah pada sistem, serta memiliki permukaan luas sehingga mikroorganisme dapat tumbuh lebih banyak untuk proses dekomposisi zat organik pada limbah. |

Penentuan Aerasi Optimum dalam Menurunkan Kadar LAS dan Fosfat Limbah Cair *Laundry* Menggunakan Sistem MSL

Aerasi merupakan suatu proses penambahan oksigen ke dalam air sehingga kandungan oksigen terlarutnya semakin tinggi. Aerasi dilakukan dengan cara mengontakkan air dengan oksigen atau udara yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan oksigen dalam air tersebut. Pemberian aerasi pada proses pengolahan limbah dapat menyebabkan kandungan zat yang mudah menguap seperti hidrogen sulfida dan metana yang dapat menimbulkan adanya rasa dan bau pada limbah dapat hilang, dapat mengurangi adanya karbon dioksida dalam air limbah, dan membantu proses pengadukan air limbah. Proses aerasi juga sangat penting digunakan pada pengolahan limbah secara biologi, yaitu dengan memanfaatkan bakteri aerob. Tersedianya oksigen yang cukup selama proses biologi ini menyebabkan bakteri aerob dapat bekerja secara optimal, sehingga proses penurunan kandungan zat organik pada limbah cair dengan memanfaatkan bakteri aerob dapat berjalan dengan baik (Yuniarti *et al.*, 2019).



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

Penentuan aerasi optimum pada proses pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan sistem MSL didasarkan pada persentase penurunan kadar LAS dan fosfat dalam berbagai variasi aerasi. Sistem MSL yang siap digunakan diisi menggunakan limbah cair *laundry* dengan kecepatan pengisian 480 L.m⁻²hari⁻¹ selama 24 jam dari bak penampungan melalui pipa berlubang (menghadap atas), agar limbah dapat terdistribusi secara merata. Menurut Irmanto & Suyata (2009), sistem MSL dengan kecepatan pengisian 480 L.m⁻²hari⁻¹ memiliki persentase penurunan kandungan bahan organik pencemar seperti TSS, BOD dan COD mencapai 98,99%. Selanjutnya, untuk menentukan aerasi optimum dilakukan dengan cara memvariasikan aerasi dengan variasi 0, 2, 4, dan 6 L/menit, kemudian dilakukan penyamplingan setiap dua hari sekali untuk satu variasi aerasi yang digunakan untuk menganalisis kadar LAS dan fosfat sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan sistem MSL.

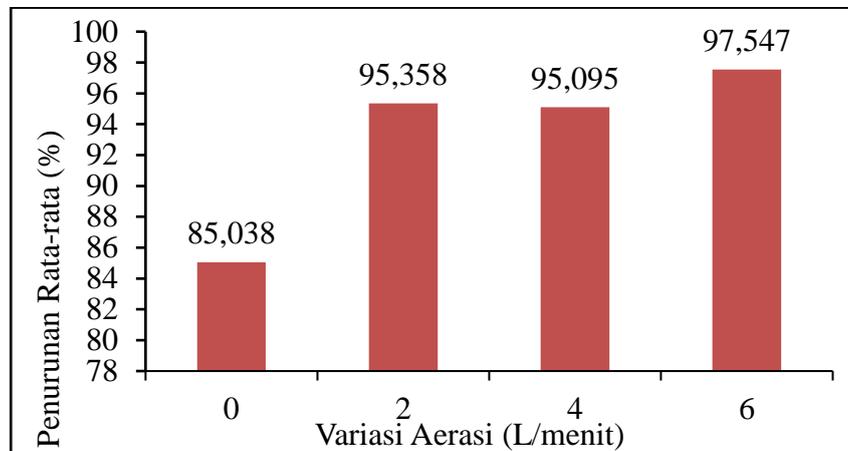
Analisis LAS

Analisis kadar LAS limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan sistem MSL dianalisis menggunakan metode *Methylene Blue Active Surfactant* atau MBAS. MBAS adalah metode standar yang umum digunakan untuk penentuan kadar surfaktan anionik. Prinsip metode ini yaitu sampel yang mengandung surfaktan anionik akan berikatan dengan metilen biru dan membentuk senyawa kompleks berwarna biru yang larut ke dalam fase kloroform ketika diekstraksi. Intensitas kompleks warna biru yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum dan nilai serapan yang terukur setara dengan kadar surfaktan anionik (Utomo *et al.*, 2018).

Pengukuran kadar LAS limbah cair *laundry* pada proses pengolahan limbah menggunakan sistem MSL dilakukan dengan cara mengukur kadar LAS sebelum dan sesudah pengolahan pada berbagai variasi aerasi yaitu 0, 2, 4, dan 6 L/menit. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan kadar LAS dan menentukan berapa aerasi optimum yang digunakan oleh sistem dalam mengolah limbah cair *laundry*. Aerasi optimum pada penelitian ini ditunjukkan dengan hasil persentase penurunan rata-rata kadar LAS paling besar. Hasil pengukuran kadar LAS dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil analisis kadar LAS limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah diolah menggunakan sistem MSL pada penentuan aerasi optimum

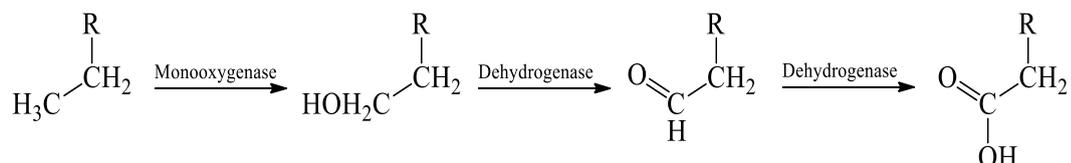
| Variasi Aerasi (L/menit) | Konsentrasi Rata-rata LAS (mg/L) | |
|-----------------------------|----------------------------------|--------------------|
| | Sebelum Pengolahan | Sesudah Pengolahan |
| 0 | 5,240 | 0,784 |
| 2 | 5,838 | 0,271 |
| 4 | 6,014 | 0,295 |
| 6 | 6,116 | 0,150 |



Gambar 2. Grafik persentase penurunan rata-rata kadar LAS limbah cair laundry pada penentuan aerasi optimum

Berdasarkan **Tabel 3**, penggunaan sistem MSL dalam pengolahan kandungan LAS dapat bekerja dengan baik. Hal tersebut ditunjukkan dengan hasil pengukuran sesudah pengolahan mengalami penurunan. Selanjutnya persentase penurunan rata-rata kadar LAS (**Gambar 2**). Persentase penurunan rata-rata kadar LAS pada **Gambar 2**, menunjukkan bahwa aerasi 6 L/menit merupakan aerasi optimum. Selain itu, secara keseluruhan penambahan aerasi mengakibatkan persentase penurunan kadar LAS lebih tinggi dibandingkan tanpa aerasi (0 L/menit). Adanya penambahan aerasi dalam sistem dapat mengoptimalkan terbentuknya kondisi aerob yang berperan dalam proses penurunan kadar LAS. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Purnamasari (2014), bahwa kandungan LAS dapat terdegradasi dengan baik dalam kondisi aerob dan sedikit terdegradasi dalam kondisi anaerob. Oleh sebab itu, adanya penambahan aerasi pada sistem MSL menyebabkan bakteri aerob bekerja lebih optimal dalam menurunkan kandungan LAS limbah cair laundry.

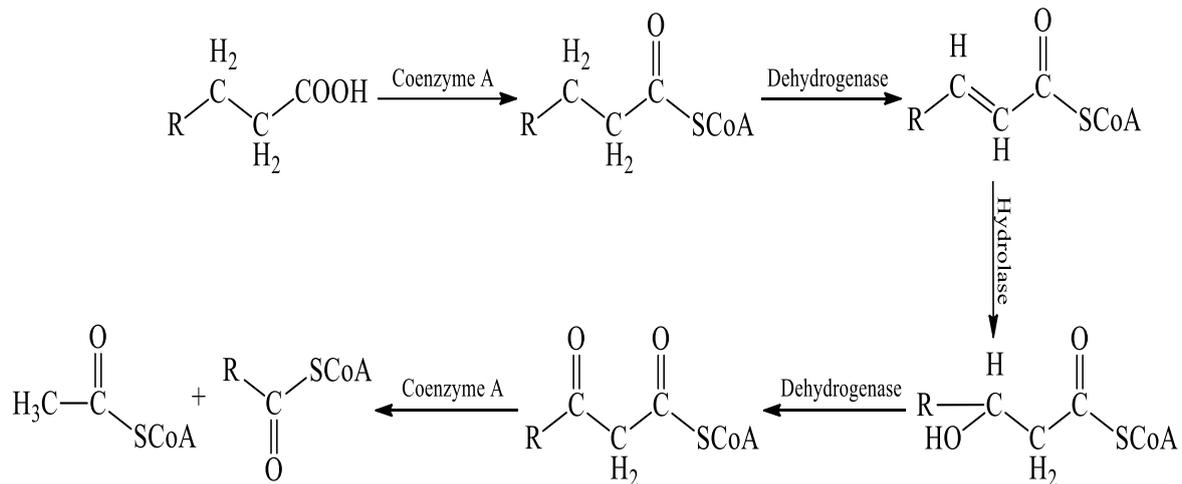
Penurunan kadar LAS sesudah proses pengolahan terjadi karena LAS mengalami degradasi. Proses degradasi LAS melibatkan terjadi pemutusan rantai lurus alkil, dilanjutkan dengan gugus sulfonat dan terakhir pemecahan cincin benzena. Langkah pertama degradasi LAS dilakukan oleh mikroorganisme aerob dengan cara pemutusan rantai lurus alkil melalui reaksi oksidasi gugus metil terminal (ω -Oksidasi) yang dikatalisis oleh enzim alkana monooksigenase dan dua enzim dehidrogenase (**Gambar 2**). Akibatnya, LAS mengalami perubahan struktur dan membentuk *Sulphophenyl Carboxylic Acid* (SPC) sebagai senyawa intermediet. Perubahan struktur tersebut menyebabkan hilangnya sifat-sifat molekul dasar, aktivitas interfasial, dan toksisitas pada LAS (Swisher, 1987).



Gambar 3. Jalur reaksi ω -Oksidasi

SPC selanjutnya akan mengalami proses β -Oksidasi (**Gambar 3**), dalam proses β -Oksidasi gugus asam karboksilat pada SPC berinteraksi dengan koenzim-A mengalami esterifikasi. Tahap pertama akan terbentuk ikatan rangkap pada posisi alfa dan beta yang dikatalisis oleh enzim dehidrogenase; selanjutnya dengan adanya enzim hidrolase mengkatalisis terbentuknya ikatan beta-hidroksi; kemudian adanya enzim dehidrogenase akan mengkatalisis terbentuknya ikatan beta-ke-ton. Tahap

terakhir, akibat adanya interaksi dengan koenzim-A menghasilkan terbentuknya asetil koenzim-A dan asam lemak ester koenzim-A dengan unsur karbon kurang dari dua. Proses tersebut terjadi berulang kali hingga rantai alkil terdegradasi secara sempurna (Wu *et al.*, 2019).



Gambar 4. Jalur reaksi β-Oksidasi

Langkah kedua dalam degradasi LAS adalah pemecahan gugus sulfonat melalui proses desulfonasi (Hashim *et al.*, 2007), dengan tiga mekanisme reaksi sebagai berikut:

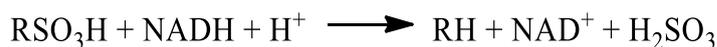
1) Desulfonasi hidroksiatif



2) Katalisis monooksigenase dalam suasana asam



3) Desulfonasi reduktif



Hasil akhir mekanisme pemecahan gugus sulfonat berupa sulfat yang kemudian mengalami oksidasi menjadi sulfat. Langkah terakhir dari proses degradasi LAS pemecahan cincin benzena yang dioksidasi oleh mikroorganisme. Hasil oksidasi mikroorganisme akan menghasilkan asam fumarat dan asam asetoasetat, serta mengubah benzena menjadi katekol. Proses degradasi benzena ini cukup sulit dilakukan oleh mikroorganisme, sehingga langkah ini menjadi pengendali kecepatan degradasi LAS. Degradasi sempurna LAS oleh mikroorganisme akan menghasilkan produk akhir berupa CO₂, H₂O, SO₄²⁻, dan biomassa sebagai unsur pokok sel mikroba baru (Scott & Jones, 2000).

Analisis fosfat

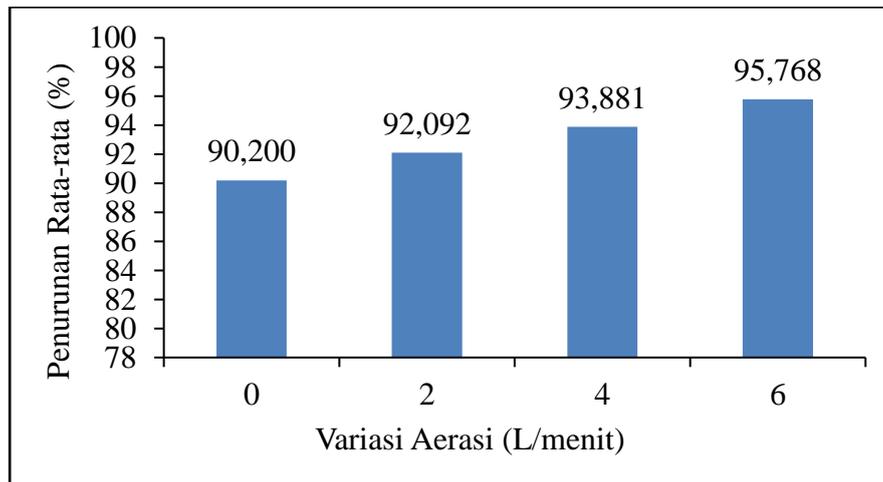
Pengukuran kadar fosfat limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan sistem MSL diukur menggunakan metode molibdat-vanadat. Prinsipnya yaitu sampel yang mengandung fosfat diubah menjadi ortofosfat dan bereaksi dengan pereaksi molibdat-vanadat membentuk kompleks berwarna kuning dalam suasana asam. Intensitas kompleks warna kuning yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum. Kadar fosfat dalam limbah cair *laundry* diukur cara mengukur kadar fosfat sebelum dan sesudah pengolahan pada berbagai variasi aerasi yaitu 0, 2, 4, dan 6 L/menit. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan kadar fosfat dan menentukan berapa aerasi optimum yang digunakan oleh sistem dalam mengolah limbah cair *laundry*. Aerasi optimum pada penelitian ini ditunjukkan dengan hasil persentase penurunan rata-rata kadar fosfat paling besar. Hasil pengukuran kadar fosfat dapat dilihat pada **Tabel 4**. Hasil pengukuran kadar fosfat limbah cair *laundry* sesudah pengolahan pada **Tabel 4**



dengan berbagai variasi aerasi mengalami penurunan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan fosfat dapat diolah menggunakan sistem MSL. Berikut persentase penurunan rata-rata penurunan kadar fosfat (**Gambar 5**)

Tabel 4. Hasil analisis kadar fosfat limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah diolah menggunakan sistem MSL pada penentuan aerasi optimum

| Variasi Aerasi (L/menit) | Konsentrasi Rata-rata Fosfat (mg/L) | |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | Sebelum Pengolahan | Sesudah Pengolahan |
| 0 | 43,829 | 3,964 |
| 2 | 41,577 | 3,288 |
| 4 | 42,703 | 2,613 |
| 6 | 40,450 | 1,712 |



Gambar 5. Grafik persentase penurunan rata-rata kadar fosfat limbah cair *laundry* pada penentuan aerasi optimum

Hasil persentase penurunan rata-rata kadar fosfat tertinggi berada pada pemberian aerasi optimum 6 L/menit sesuai dengan grafik pada **Gambar 5**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem MSL dapat bekerja secara optimum dalam menurunkan kadar fosfat. Pemberian aerasi pada sistem juga memberikan hasil persentase penurunan rata-rata fosfat lebih tinggi dibandingkan tanpa pemberian aerasi (0 L/menit). Adanya penambahan aerasi pada sistem dapat mengoptimalkan proses oksidasi ion divalen menjadi ion trivalen, serta menyebabkan banyak oksida besi yang akan bereaksi dengan ion fosfat dalam limbah cair *laundry*. Sehingga akan membentuk endapan FePO_4 dengan ion besi yang dapat menurunkan kadar fosfat pada limbah cair *laundry* (Ho & Wang, 2015).

Proses penurunan kadar fosfat dalam limbah cair *laundry* didasarkan pada proses pertukaran ion dalam sistem MSL. Proses ini sangat dipengaruhi oleh komponen penyusun yang terdapat dalam sistem MSL. Salah satunya adalah penggunaan zeolit dalam pembuatan sistem MSL yang memiliki peranan penting dalam penurunan kadar fosfat. Zeolit yang digunakan memiliki banyak senyawa yang dapat mengikat anion fosfat, seperti aluminium, mangan, dan oksida besi (Rahayu *et al.*, 2023). Selain zeolit, penggunaan tanah andisol (pada lapisan anaerob) juga dapat membantu proses penurunan fosfat, karena tanah ini mengandung banyak Al dan Fe yang mampu mengikat fosfat (Sukmawati, 2011). Adanya mikroorganisme pada tanah juga berperan dalam proses penurunan



kadar fosfat. Mikroorganisme akan mengadsorpsi fosfat yang nantinya akan digunakan sebagai nutrisi untuk proses pertumbuhan dan menghasilkan enzim untuk mengikat fosfat (Rahayu *et al.*, 2023).

Mekanisme penurunan fosfat dalam limbah cair *laundry* terjadi ketika limbah mengalami kontak dengan lapisan campuran tanah yang menyebabkan kandungan partikel besi dalam tanah andisol larut, disini ion Fe akan mengalami oksidasi menjadi ion Fe^{2+} dan masuk ke lapisan aerob (zeolit). Ion Fe^{2+} yang masuk ke lapisan aerob (zeolit) akan mengalami oksidasi menjadi ion Fe^{3+} dan membentuk $Fe(OH)_3$, akibat adanya penambahan aerasi yang memberikan suplai oksigen dalam lapisan ini. Ion Fe^{3+} inilah yang nantinya berperan dalam proses pengikatan fosfat, sehingga kadar fosfat dalam limbah cair *laundry* dapat diturunkan. Terbentuknya $Fe(OH)_3$ pada lapisan aerob (zeolit) mengakibatkan terjadinya proses pertukaran ion antara ion hidroksida yang berikatan pada ion Fe^{3+} dengan kandungan fosfat dalam limbah cair *laundry* dan membentuk endapan $FePO_4$. Terbentuknya endapan tersebut mengakibatkan turunkan kadar fosfat setelah limbah cair *laundry* melewati proses pengolahan menggunakan sistem MSL (Chen *et al.*, 2009 dan Luo *et al.*, 2014).

Penentuan Efektivitas Sistem MSL dalam Menurunkan Kadar LAS dan Fosfat Limbah Cair Laundry

Penentuan efektivitas sistem MSL dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry* ditentukan menggunakan aerasi optimum 6 L/menit. Limbah cair *laundry* dialirkan dengan kecepatan pengisian $480 L \cdot m^{-2} \cdot hari^{-1}$ dengan penambahan aerasi sebesar 6 L/menit selama 24 jam dalam rentang waktu pengolahan limbah selama 30 hari. Selanjutnya, proses pengukuran penurunan kadar LAS dan fosfat sebelum dan sesudah pengolahan dilakukan setiap 5 hari sampai hari ke-30. Efektivitas sistem MSL nantinya dapat diperoleh dari rata-rata persentase penurunan kadar LAS dan fosfat pada aerasi optimum selama 30 hari. Tujuan penentuan efektivitas sistem MSL dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem MSL dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat yang terkandung pada limbah cair *laundry*. Berikut merupakan hasil pengukuran kadar LAS dan fosfat sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan sistem MSL selama 30 hari pada penentuan efektivitas sistem MSL yang dapat dilihat pada di bawah ini.

Tabel 5 menyajikan data hasil pengukuran kadar LAS sebelum dan sesudah pengolahan, persentase penurunan kadar LAS, serta efektivitas sistem MSL. Hasil pengukuran kadar LAS sesudah pengolahan telah memenuhi Standar Baku Mutu Air Limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, dengan hasil pengolahan LAS di bawah 3 mg/L. Selain itu, hasil persentase penurunan kadar LAS (perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 7.a) menunjukkan hasil yang cukup stabil, selanjutnya hasil tersebut digunakan untuk menentukan efektivitas sistem MSL. Berdasarkan **Tabel 5**, sistem MSL memiliki efektivitas sebesar 98,663%. Besarnya nilai efektivitas ini menandakan bahwa sistem tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan kadar LAS limbah cair *laundry*. Selanjutnya, pada **Tabel 6** menunjukkan data hasil pengukuran kadar fosfat sebelum dan sesudah pengolahan, persentase penurunan kadar fosfat, serta efektivitas sistem MSL. Berdasarkan tabel di atas, kadar fosfat sesudah pengolahan telah memenuhi Standar Baku Mutu Air Limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Dengan kadar fosfat sesudah pengolahan berada di bawah 2 mg/L. Hasil persentase penurunan kadar fosfat yang diperoleh menunjukkan hasil yang cukup stabil, kemudian hasil tersebut digunakan untuk menentukan efektivitas sistem MSL. Penggunaan sistem MSL pada penurunan kadar fosfat memiliki efektivitas sebesar 97,241%. Artinya, sistem MSL memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan kadar fosfat limbah cair *laundry*.



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023

Purwokerto

Tabel 5. Hasil analisis kadar LAS limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah diolah menggunakan sistem MSL pada penentuan efektivitas sistem MSL

| Waktu Sampling (Hari) | Konsentrasi Rata-rata LAS (mg/L) | | Penurunan Kadar LAS (%) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | Sebelum Pengolahan | Sesudah Pengolahan | |
| Hari ke-5 | 6,637 | 0,076 | 98,855 |
| Hari ke-10 | 6,907 | 0,059 | 99,146 |
| Hari ke-15 | 7,549 | 0,081 | 98,927 |
| Hari ke-20 | 7,228 | 0,114 | 98,423 |
| Hari ke-25 | 7,425 | 0,154 | 97,926 |
| Hari ke-30 | 6,933 | 0,090 | 98,702 |
| Efektivitas sistem MSL (%) | | | 98,663 |

Tabel 6. Hasil analisis kadar fosfat limbah cair *laundry* sebelum dan sesudah diolah menggunakan sistem MSL pada penentuan efektivitas sistem MSL

| Waktu Sampling (Hari) | Konsentrasi Rata-rata Fosfat (mg/L) | | Penurunan Kadar Fosfat (%) |
|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | Sebelum Pengolahan | Sesudah Pengolahan | |
| Hari ke-5 | 41,126 | 1,261 | 96,934 |
| Hari ke-10 | 40,676 | 1,486 | 96,347 |
| Hari ke-15 | 41,351 | 1,712 | 95,860 |
| Hari ke-20 | 43,378 | 1,036 | 97,612 |
| Hari ke-25 | 41,802 | 0,811 | 98,060 |
| Hari ke-30 | 42,928 | 0,586 | 98,635 |
| Efektivitas sistem MSL (%) | | | 97,241 |

Penggunaan metode pengolahan limbah cair *laundry* dengan sistem MSL terbukti memberikan suatu alternatif metode yang dapat digunakan dalam proses penurunan kadar LAS dan fosfat. Penurunan kadar LAS dan fosfat dalam sistem MSL ini sangat dipengaruhi oleh adanya kondisi aerob dan non aerob. Kondisi aerob terjadi pada lapisan zeolit dan kerikil, sedangkan kondisi anaerob terjadi pada lapisan campuran tanah dan arang kayu. Peristiwa penurunan kontaminan limbah pada kondisi aerob terjadi karena partikel-partikel tersuspensi dalam air limbah akan menempel pada permukaan zeolit dan kerikil, sehingga akan mengalami proses adsorpsi. Penurunan kontaminan limbah pada kondisi anaerob terjadi karena adanya mikroorganisme yang berasal dari penggunaan tanah andisol. Mikroorganisme tersebut akan hidup dan melakukan simbiosis mutualisme serta melakukan degradasi berantai oleh bakteri dalam sistem MSL (Mutia *et al.*, 2015).

Selain itu, adanya penambahan aerasi optimum pada penelitian ini terbukti mampu mengoptimalkan kinerja sistem MSL yang digunakan dalam proses pengolahan limbah. Proses pengolahan limbah memiliki peranan penting untuk menurunkan kadar bahan pencemar yang terkandung dalam limbah sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Penambahan aerasi optimal dapat memberikan suplai oksigen yang optimal kepada mikroorganisme, salah satunya bakteri aerob yang berperan



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

penting dalam proses penurunan kadar LAS. Selain itu, penambahan aerasi optimal juga berperan penting dalam proses penurunan kadar fosfat, aerasi dapat memberikan suplai oksigen yang digunakan dalam proses oksidasi besi yang memiliki peranan penting pada proses mekanisme pertukaran ion pada proses sedimentasi fosfat.

KESIMPULAN

Sistem *Multi Soil Layering* atau MSL merupakan salah satu metode pengolahan air limbah yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry*. Pengaruh aerasi pada sistem MSL dengan variasi 0, 2, 4, dan 6 L/menit memberikan hasil aerasi optimum dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat pada aerasi 6 L/menit dengan persentase penurunan masing-masing sebesar 97,574% dan 95,768%. Sistem MSL memiliki efektivitas dalam menurunkan kadar LAS dan fosfat limbah cair *laundry* dengan penambahan aerasi optimum masing-masing sebesar 98,663% dan 97,241%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Laboratorium Kimia Analitik dan Kimia Anorganik yang telah memberikan ijin penggunaan Laboratorium dan penggunaan peralatan Laboratorium

DAFTAR PUSTAKA

- An, C. J., McBean, E., Huang, G. H., Yao, Y., Zhang, P., Chen, X. J., & Li, Y. P. (2016). Multi-Soil-Layering Systems for Wastewater Treatment in Small and Remote Communities. *Journal of Environmental Informatics*, 27(2), 131–144.
- Apriyani, N. (2017). Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah *Laundry*. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 37–44.
- Chen, X., Luo, A. C., Sato, K., Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2009). An Introduction of a Multi-Soil-Layering System: a Novel Green Technology for Wastewater Treatment in Rural Areas. *Water and Environment Journal*, 23(4), 255–262.
- Ginting, P. (2007). *Sistem Pengolahan Lingkungan dan Limbah Industri*. Bandung: Yrama Widya.
- Hadrah, Kasman, M., & Septiani, K. T. (2019). Analisis Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair *Laundry* dengan *Multi Soil Layering* (MSL). *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(1), 36–41.
- Haribowo, R., Megah, S., & Rosita, W. (2019). Efisiensi Sistem *Multi Soil Layering* pada Pengolahan Air Limbah Domestik pada Daerah Perkotaan Padat Penduduk. *Jurnal Teknik Pengairan*, 10(1), 11–27. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.01.2>
- Hashim, M. A., Kulandai, J., & Hassan, R. S. (2007). Biodegradability of Branched Alkylbenzene Sulphonates. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 54(3), 207–214. <https://doi.org/10.1002/jctb.280540302>
- 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>
- Irmanto, & Suyata. (2009). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu di Desa Kalisari Kecamatan Cilongok dengan Metode *Multi Soil Layering*. *Molekul*, 4(1), 21–32.



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

Larasati, N. N., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Zainuri, M., & Kunarso, K. (2021). Kandungan Pencemar Detergen dan Kualitas Air di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i1.9470>

Luo, W., YANG, C., He, H., & Zeng, G. (2014). Novel Two-stage Vertical Flow Biofilter System for Efficient Treatment of Decentralized Domestic Wastewater. *Ecological Engineering*, 64, 415–423.

Mairizki, F., & Putra, A. Y. (2021). Efektifitas Arang Aktif Terhadap Peningkatan Kualitas Air Tanah dengan Metode *Multi Soil Layering* (MSL). *Jurnal Katalisator*, 6(1), 74–86.

Masunaga, T., Sato, K., Mori, J., Shirahama, M., Kudo, H., & Wakatsuki, T. (2007). Characteristics of Wastewater Treatment using a Multi-Soil-Layering System in Relation to Wastewater Contamination Levels and Hydraulic Loading Rates. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 215–223.

Mutia, R., Elystia, S., & Yenie, E. (2015). Metode *Multi Soil Layering* dalam Penyisihan Parameter TSS Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) dan Material Organik pada Lapisan Anaerob. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 2(1), 1–6.

Pawestri, D. S., Budiono, Z., & Abdullah, S. (2020). Efisiensi *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Menurunkan Kadar Chromium Heksavalen (Cr^{6+}) pada Limbah Cair Sablon Di Kaos Ngapak Kabupaten Banyumas Tahun 2020. *Buletin Keslingmas*, 39(3), 131–137. <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v39i3.6038>

Purnamasari, E. N. (2014). Karakteristik Kandungan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) pada Limbah Cair Laundry. *Jurnal Media Teknik*, 11(1), 32–36.

Rahayu, A., Maryudi, M., Nuraini, N., Amrillah, N. A. Z., Mulyadi, I., & Hanum, F. F. (2023). Reduction of COD, pH and Phosphate Levels in Laundry Wastewater Using Multi Soil Layering (MSL) Method. *Jurnal Sains Natural*, 13(1), 31–38. <https://doi.org/10.31938/jsn.v13i1.450>

Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Peres, J. A. (2012). Improvement of The Flocculation Process in Water Treatment by Using *Moringa oleifera* Seeds Extract. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(3), 495–501.

Sato, K., IHA, Y., Luanmanee, S., Masunaga, T., & Wakatsuki, T. (2002). Long Term on-site Experiments and Mass Balances in Waste Water Treatment by Multi-Soil-Layering System. In *17th World Congress of Soil Science* (Issue 55).

Scott, M. J., & Jones, M. N. (2000). The Biodegradation of Surfactants in The Environment. *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*, 1508(1–2), 235–251. [https://doi.org/10.1016/S0304-4157\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4157(00)00013-7)

Song, P., Huang, G., An, C., Shen, J., Zhang, P., Chen, X., Shen, J., Yao, Y., Zheng, R., & Sun, C. (2018). Treatment of Rural Domestic Wastewater using Multi-Soil-Layering Systems: Performance Evaluation, Factorial Analysis and Numerical Modeling. *Science of the Total Environment*, 644, 536–546.

Sukmawati, S. (2011). Jerapan P pada Andisol yang Berkembang dari Tuff Vulkan Beberapa



Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers

"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"
17-18 Oktober 2023
Purwokerto

Gunung Api di Jawa Tengah dengan Pemberian Asam Humat dan Asam Silikat. *Media Litbang Sulteng*, 4(1), 30–36.

Swisher, R. . (1987). *Surfactant Biodegradation*. New York: Marcel Dekker Inc.

Utomo, W. P., Nugraheni, Z. V., Rosyidah, A., Shafwah, O. M., Naashihah, L. K., Nurfitriana, N., & Ullfindrayani, I. F. (2018). Penurunan Kadar Surfaktan Anionik dan Fosfat dalam Air Limbah *Laundry* di Kawasan Keputih, Surabaya Menggunakan Karbon Aktif. *Akta Kimia Indonesia*, 3(1), 127–140.

Wakatsuki, T., Esumi, H., & Omura, S. (1993). High Performance and N & P-Removable On-Site Domestic Waste Water Treatment System by Multi-Soil-Layering Method. *Water Science and Technology*, 27(1), 31–40.

Wardhana, W. A. (1995). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset.

Wu, Q., Zhao, L., Song, R., & Ma, A. (2019). Research Progress of Surfactant Biodegradation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 227(5), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/227/5/052023>

Yuliana, Langsa, M. H., & Sirampun, A. D. (2020). Air Limbah *Laundry*: Karakteristik dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Air. *Jurnal Natural*, 16(1), 25–33.

Yuniarti, D. P., Komala, R., & Aziz, S. (2019). Pengaruh Proses Aerasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Di PTPN VII Secara Aerobik. *Teknik Lingkungan*, 4(2), 7–16.

Zairinayati, & Shatriadi, H. (2019). Biodegradasi Fosfat pada Limbah *Laundry* Menggunakan Bakteri Consorsium Pelarut Fosfat. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(1), 57–61.

Zoller, U. (2004). *Handbooks of Detergents, Part B: Environmental Impact*. Boca Raton: CRC Press.