Terbit *online* pada laman web jurnal :http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|

Artikel Penelitian

Efektivitas Metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Penurunan Total Koliform Limbah Cair Domestik

Aisha Shakira[1)], Ama Mullah[1)], Abd Mujahid Hamdan[2)], Syafrina Sari Lubis[2)]

[1)]Program Studi Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry, Kopelma Darussalam, Banda Aceh dan 23111, Indonesia

[2)]Program Studi Teknik Fisika UIN Ar-Raniry, Kopelma Darussalam, Banda Aceh dan 23111, Indonesia

**Koresponden:* 190702068@student.ar-raniry.ac.id

Diterima: 19 Mei 2023 Diperbaiki: 2 Juni 2023 Disetujui: 5 Juli 2023

A B S T R A C T

This research employs Multi Soil Layering (MSL), an environmentally friendly technology, to remove coliform bacteria contaminants from wastewater using a novel alternative medium. The purpose of this study is to evaluate the efficacy of the MSL method employing bio rings in reducing pollutant parameters in domestic wastewater, particularly total coliform. This study utilized Hydraulic Loading Rate (HLR) variations of 23.80 L/m^2/hour, 7.14 L/m^2/hour, and 3.40 L/m^2/hour, as well as Hydraulic Retention Time (HRT) variations of 4, 6, 8, 10, and 12 hours. The results of domestic wastewater treatment using the MSL method using HLR variations on total coliform from 1.89×10^5 MPN/100mL to 6.0×10^2 MPN/100mL, the total colony parameter from 5.95×10^6 CFU/mL to 3.6×10^5 CFU/mL, the chemical oxygen demand parameter value of 53 mg/L with an effectiveness of 98.6%, the total suspended solid parameter is valued at 25 mg/L with reduction effectiveness of 98.6% and the pH value changes to 7.3 at the HLR variation of 3.40 L/m^2/hour. As for using the HRT variation for 12 hours the total coliform from 1.16×10^4 MPN/100mL to 9×10^2 MPN/100mL, the total colony parameter from 4.91×10^6 CFU/mL to 3.0×10^5 CFU/mL, the chemical oxygen demand parameter was 92 mg/L with its effectiveness 99%, the total suspended solid parameter is 87 mg/L with reduction effectiveness of 67% and the potential of hydrogen value changes to 7.6. Therefore, the MSL method employing bio rings can be used as a new option for domestic effluent treatment.

Keywords: domestic wastewater, coliform total, Multi Soil Layering (MSL)

A B S T R A K

Penelitian ini menggunakan Multi Soil Layering (MSL), sebuah teknologi ramah lingkungan, untuk menghilangkan kontaminan bakteri coliform dari air limbah menggunakan media alternatif baru. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efikasi metode MSL dengan bioring dalam menurunkan parameter polutan dalam air limbah domestik, khususnya total coliform. Penelitian ini memanfaatkan variasi Hydraulic Loading Rate (HLR) 23,80 L/m^2/jam, 7,14 L/m^2/jam, dan 3,40 L/m^2/jam, serta variasi Hydraulic Retention Time (HRT) 4, 6, 8, 10, dan 12 jam. Hasil pengolahan air limbah domestik dengan metode MSL menggunakan variasi HLR pada total coliform dari 1,89 × 105 MPN/100mL menjadi 6,0 × 102 MPN/100 mL, parameter total koloni dari 5,95 × 106 CFU/mL menjadi 3,6 × 105 CFU/mL, nilai parameter kebutuhan oksigen kimia 53 mg/L dengan efektivitas 98,6%, parameter total padatan tersuspensi senilai 25 mg/L dengan efektivitas reduksi 98,6% dan nilai pH berubah menjadi 7,3 pada variasi HLR 3,40 L/m^2/jam. Sedangkan untuk menggunakan variasi HRT selama 12 jam total coliform dari 1,16 × 104 MPN/100mL menjadi 9 × 102 MPN/100mL, parameter total koloni dari 4,91 × 106 CFU/mL menjadi 3,0 × 105 CFU/mL, kebutuhan oksigen kimia parameter 92 mg/L dengan efektivitas 99%, parameter total padatan tersuspensi 87 mg/L dengan efektivitas reduksi 67% dan nilai potensial hidrogen berubah menjadi 7,6. Oleh karena itu, metode MSL yang menggunakan bio ring dapat digunakan sebagai pilihan baru untuk pengolahan limbah rumah tangga.

Kata Kunci: air limbah domestik, total koliform, *Multi Soil Layering* (MSL)

https://doi.org/10.25077/dampak.20.2.83-92.2023 Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.

1. PENDAHULUAN

Setiap pertumbuhan signifikan jumlah penduduk di wilayah perkotaan akan berdampak negatif yang sangat serius pada degradasi lingkungan. Penambahan penduduk berarti adanya peningkatan konsumsi air bersih yang berdampak pada jumlah limbah air yang dihasilkan (Yudo dan Said, 2018). Limbah domestik yang meningkat tanpa peningkatan kualitas dan kuantitas air yang masuk ke badan air penerima akan menyebabkan pencemaran air karena volume air limbah yang masuk melebihi kapasitas dan daya dukungnya (Hidayah dkk., 2018). Berbagai jenis limbah menjadi sumber pencemar air sungai, diantaranya limbah domestik (sanitasi, sampah, detergen) sebesar 60%, limbah industri sebesar 30%, dan limbah pertanian dan peternakan sebesar 10% (Sa'diyah dkk., 2018).

Menurut identifikasi yang dilakukan oleh Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Dirjen PPKL KLHK), limbah domestik atau rumah tangga yang dibuang langsung ke sungai melalui saluran drainase merupakan sumber pencemar terbesar pada sungai utama yang mengakibatkan penurunan kualitas air. Adapun penurunan kualitas air tersebut umumnya disebabkan oleh kandungan total koliform, *chemical oxygen demand* (COD), *biological oxygen demand* (BOD_5), dan nitrat (NH_3) yang terdapat dalam sungai (Muhsinin, 2019). Penanganan terhadap limbah air rumah tangga di Kota Banda Aceh selama ini dilakukan dengan dua cara, yakni limbah blackwater dibuang ke tangki septik dan limbah *greywater* dibuang ke saluran drainase tanpa diolah (Marantiah, 2019).

Bakteri yang umumnya berkembangbiak di badan lingkungan seperti air dan tanah yang tercemar oleh air limbah antara lain *Coliform*, *Eschericia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* dan *Salmonella* sp. (Verawati dkk., 2019). Bakteri Coliform merupakan bakteri yang digunakan sebagai indikator untuk mengukur tingkat pencemaran limbah dan apabila jumlahnya sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan, dapat menimbulkan dampak negatif pada kualitas air, makanan, susu, dan produk susu (Malia dkk, 2021). Bakteri golongan koliform dapat menyebabkan berbagai macam penyakit pada manusia, seperti diare, kram perut, dan infeksi saluran pencernaan. Sementara itu, infeksi dari bakteri *Eschericia coli* dapat menyebabkan gangguan pada saluran kemih, selaput otak, dan bahkan komplikasi ginjal langka yang disebut *hemolytic uremic syndrome* (HUS) (Abu-Sini dkk., 2023).

Salah satu permasalahan di Kota Banda Aceh adalah ketiadaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang dapat digunakan oleh rumah tangga. Oleh karena itu, limbah domestik tidak diolah dan langsung dialirkan ke badan air penerima. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan teknologi pengolahan air limbah yang praktis dan sederhana agar mudah digunakan oleh masyarakat rumah tangga, seperti metode *Multi Soil Layering* (MSL). Metode MSL merupakan salah satu metode pengolahan air limbah yang memanfaatkan fungsi tanah untuk melakukan proses pemurnian limbah cair. Metode ini menggunakan reaktor yang disusun dari campuran tanah andosol, bebatuan kerikil, dan zeolit atau perlit (Ivontianti dkk., 2022). Pengolahan air limbah domestik menggunakan metode MSL telah berhasil dilakukan dalam beberapa tahun terakhir di beberapa negara seperti Jepang, Amerika Serikat, Cina, dan Taiwan (Latracha dkk., 2018).

Teknologi MSL sangat efektif dalam mengatasi eutrofikasi air limbah yang disebabkan oleh bakteri. Sistem ini juga memerlukan ruang yang sedikit, perawatan yang mudah, jarang tersumbat, tidak bergantung pada energi listrik, dan tahan lama hingga 20 tahun. Sistem ini memiliki performa yang sangat baik dalam menghilangkan zat-zat yang terkandung dalam limbah, seperti 98% TSS (*Total Suspended Solid*), 92% BOD (*Biological Oxygen Demand*), 98% COD (*Chemical Oxygen Demand*), 92% total nitrogen, dan 100% total fosfor (Mugani dkk., 2022). Secara umum, limbah yang diolah dengan sistem ini memiliki karakteristik yang mirip dengan limbah domestik, yaitu mengandung bahan organik dari sisa makanan atau proses pencucian peralatan rumah tangga.

Sistem MSL menghilangkan bakteri melalui kombinasi beberapa komponen, seperti lapisan filtrasi, batu apung, zeolit atau perlit, karbon aktif, dan adsorpsi mineral atau degradasi biologis (Mugani dkk., 2022). Dalam sistem ini, bakteri berukuran kecil dapat terdegradasi melalui filtrasi dan adsorpsi dengan tingkat efisiensi mencapai 99%, seperti contohnya cyanobacteria berukuran 0,5 mm dan *Mycrocystis* sp. berukuran 1 mm (Aba dkk., 2021). Sistem MSL terbukti efektif dalam menghilangkan indikator bakteri seperti koliform dengan kombinasi sistem dua tahap, mencapai pengurangan antara 2,21 hingga 3,15 unit log (Latrach dkk., 2018). Sistem gabungan MSL

dengan *sand filter* telah terbukti efisien dalam mengurangi koliform dan telur cacing pada limbah cair domestik, dengan urutan pengurangan parameter pencemar adalah 4,46 unit log untuk total koliform, 4,47 unit log untuk koliform tinja, dan 4,13 unit log untuk streptokokus tinja, serta menghilangkan telur cacing sebesar 100% (Latrach dkk., 2019). Oleh karena itu, teknologi MSL adalah pilihan yang tepat untuk pengolahan lingkungan terkontaminasi.

Untuk mencapai efisiensi dan efektivitas yang optimal, sistem MSL sangat dipengaruhi oleh laju aliran air limbah yang sesuai. *Hydraulic Loading Rate* (HLR) dan *Hydraulic Retention Time* (HRT) adalah parameter utama yang perlu diperhatikan untuk menjaga efisiensi sistem penyisihan pada MSL (Mohamed dkk., 2018). HLR mengacu pada laju aliran air limbah per satuan luas permukaan dalam satu waktu tertentu, sedangkan HRT mengacu pada waktu yang dibutuhkan untuk air limbah tertahan di lapisan media filter MSL sehingga terjadi interaksi antara air limbah dengan media filter dalam jangka waktu yang ditentukan (Arora dan Saraswat, 2021). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai penurunan parameter pencemar terkhusus total koliform pada limbah cair domestik menggunakan sistem MSL.

2. METODOLOGI

Reaktor MSL berbahan kaca didesain dengan dimensi 31 cm × 22,5 cm × 60 cm dan ketebalan 3 mm, adapun pada reaktor sedimentasi memiliki dimensi 30 cm × 25 cm × 60. Setiap lapisan SMB pada MSL mengandung lapisan campuran tanah yang tersusun dari bahan lokal seperti tanah andosol, serbuk arang, serbuk besi dan serbuk gergaji dengan perbandingan masing-masing 70%, 10%, 10% dan 10%. Blok campuran tanah (SMB) dikelilingi oleh lapisan permeabel berupa kerikil dengan diameter 3 – 5 mm dan *bio ring* dengan diameter 18 mm yang disusun ke dalam reaktor MSL dengan struktur berulang (Latracha dkk., 2017).

Lapisan bagian dasar reaktor MSL merupakan kerikil berdiameter 1 – 3 cm dengan ketinggian 5 cm kemudian pada lapisan kedua merupakan lapisan *bio ring* dengan ketinggian 5 cm. Lapisan ketiga diisi dengan *Soil Mixture Block* (SMB) yang merupakan blok campuran tanah yang dipasang sejajar pada jarak masing-masingnya 4 cm. Kemudian lapisan selanjutnya diisi dengan *bio ring* setinggi 5 cm. Lapisan-lapisan lain diisikan dengan cara yang sama sampai membentuk beberapa lapis blok-blok campuran tanah, lalu ditutupi dengan jaring plastik dan di atas jaring plastik tersebut dilapisi dengan *bio ring* serta kerikil setinggi 5 cm. Reaktor MSL dilengkapi dengan wadah plastik penampung hasil olahan air limbah (*outlet*) (Kasman dkk., 2021).

Volume air limbah domestik yang dialirkan ke dalam reaktor MSL adalah 5 Liter dengan variasi waktu detensi 3 jam, 10 jam dan 21 jam. Berdasarkan volume reaktor dan waktu detensi dapat dihitung HLR, sehingga diperoleh variasi HLR dalam pengolahan air limbah domestik menggunakan sistem MSL. Berikut di bawah ini merupakan persamaan menghitung HLR (Ningrum dkk., 2018).

$$\text{HLR} = \frac{(\text{Volume air limbah (liter)}/\text{Waktu detensi (jam)})}{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter Kadar Total Koliform

Hasil penelitian menunjukkan efektivitas sistem MSL dalam menurunkan kadar total koliform pada air limbah domestik, yang dapat dilihat pada Tabel 1. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan sistem MSL yang terdiri atas beberapa lapisan, antara lain media kerikil, bio ring, dan SMB. Hasil pengolahan air limbah domestik dengan sistem MSL pada kedua variasi HLR dan HRT secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter total koliform

Total Koliform				
HLR		**HRT**		**Baku Mutu**
Variasi ($L/m^2/jam$)	MPN/100 mL	Variasi (jam)	MPN/100 mL	
23,80	$1{,}39 \times 10^4$	4	$3{,}1 \times 10^3$	3000 MPN/100 mL
		6	$3{,}1 \times 10^3$	
7,14	$2{,}6 \times 10^3$	8	$2{,}7 \times 10^3$	
		10	$2{,}1 \times 10^3$	
3,40	6×10^2	12	9×10^2	

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/MENLHK/Setjen/2016, konsentrasi total koliform dengan kadar yang diizinkan adalah sebesar 3000 MPN/100mL sampel. Pengolahan air limbah domestik pada penelitian ini mempengaruhi konsentrasi dari total koliform, limbah cair domestik

sebelum diolah memiliki nilai total koliform sebesar >189.800 MPN/100mL atau dapat dikatakan tak terhingga pada sampel variasi HLR dan 11.600 MPN/100mL pada sampel variasi HRT. Setelah diolah mengalami penurunan menjadi 600 MPN/100mL dan 900 MPN/100mL pada variasi HLR dan HRT secara berturut-turut.

Inovasi terbaru dalam sistem MSL ini adalah memanfaatkan bio ring sebagai lapisan permeabelnya yang memberikan kontribusi besar dalam penyisihan total koliform. Selain bio ring, kerikil dan SMB juga termasuk lapisan media yang digunakan pada sistem MSL untuk menyisihkan total koliform. Adapun komposisi utama bio ring ialah silika dan kuarsa yang juga mengandung 90% silika, diketahui bahwa silika sangat efektif dalam mendegradasi bakteri koliform dikarenakan silika berperan sebagai adsorben (Artidarma dkk., 2021). Ketika aliran air limbah domestik yang mengandung bakteri koliform melewati lapisan bio ring, maka bakteri akan menempel pada media bio ring (Pazdar dkk., 2019). Adapun lapisan kerikil yang digunakan pada eksperimen ini merupakan kerikil silika yang berfungsi sebagai media penyaring air untuk meningkatkan efisiensi pengurangan bakteri koliform pada air limbah domestik. Silika memiliki karakteristik di antaranya kapasitas adsorpsi yang kuat, sifat mekanik yang baik, serta mikropori yang dapat menghasilkan luas permukaan spesifik yang besar (Tian dan Liu, 2021).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, disebutkan bahwa bahan silika memiliki gugus hidroksil pada permukaannya (Ge dan Liu, 2022). Gugus hidroksil diketahui memiliki kemampuan untuk melarutkan lipid pada membran luar bakteri gram negatif seperti bakteri koliform dan E. coli, yang mengakibatkan kerusakan membran dan mengganggu fungsi pertahanan luar bakteri. Hal ini dapat menyebabkan hilangnya penyangga pada bakteri koliform dan akhirnya mengalami lisis (Sepvianti dkk., 2022). Oleh karena itu, kandungan silika pada bio ring berpotensi sebagai pendegradasi bakteri. Berikut di bawah ini merupakan Gambar 3 mekanisme pendegradasian total koliform oleh lapisan sistem MSL.

Pendegradasian total koliform pada air limbah domestik ini kemungkinan juga dipengaruhi oleh media SMB yang berfungsi sebagai lapisan absorpsi pada perlakuan ini. Media SMB terdiri atas tanah andosol yang diketahui memiliki kemampuan penjerapan dan filtrasi yang baik karena memiliki struktur pori-pori yang besar dan beragam, sehingga mampu menahan dan menyerap air dengan baik. Selain itu, bahan organik yang tinggi pada tanah andosol juga dapat menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme yang hidup di dalam tanah, termasuk bakteri yang mampu mendegradasi bahan organik (Rois dkk., 2018). Adapun selama proses pengolahan air limbah ini, serbuk besi dalam SMB bersifat antimikroba yang dapat menghambat dan membunuh bakteri. Sifat antimikroba tersebut dihasilkan oleh kemampuan serbuk besi untuk menghasilkan senyawa radikal bebas, seperti hidroksil (OH^-) melalui reaksi redoks saat bereaksi dengan oksigen atau senyawa lain, seperti air (Fathallah dkk., 2020). Senyawa radikal bebas tersebut merusak membran sel bakteri dan DNA, menghambat pertumbuhan dan membunuh bakteri. Selain itu, serbuk besi juga dapat menarik dan menjerap bakteri pada permukaannya, mencegah bakteri untuk berkembang biak dan menyebar ke lingkungan sekitarnya (Fathallah dkk., 2020).

Berdasarkan hal tersebut, pengaruh pendegradasian total koliform dipengaruhi oleh variasi nilai HLR dan HRT. Pada nilai HLR tinggi (23,80 L/m^2/jam) dan HRT selama 4 jam, air limbah bergerak cepat ke outlet sehingga mengurangi waktu kontak antara air limbah dengan lapisan bio ring, kerikil, dan SMB. Sebelum terjadi adsorpsi, transformasi, dan reduksi kontaminan, air limbah memerlukan waktu kontak tertentu dengan biofilm yang tumbuh dan menempel pada media filter (Samal dkk., 2018). Sebaliknya, eksperimen dengan nilai HLR rendah (3,40 L/m^2/jam) dan HRT selama 12 jam memberikan pendegradasian yang optimal karena waktu kontak antara air limbah dengan lapisan sistem MSL lebih maksimal.

3.2. Parameter Kadar Total Koloni

Hasil perhitungan dan efektivitas pengolahan air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 2, yang didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan terkait perhitungan total koloni.

Pendegradasian total koloni pada air limbah domestik terdapat penurunan jumlah total koloni yang signifikan sebelum dan sesudah pengolahan. Pada sampel variasi HLR, jumlah total koloni sebelum pengolahan sebesar $5{,}95 \times 10^6$ CFU/mL, dan setelah pengolahan jumlahnya menjadi $3{,}6 \times 10^5$ CFU/mL. Pada sampel variasi HRT, sistem MSL mampu menurunkan jumlah total koloni menjadi $3{,}0 \times 10^5$ CFU/mL dengan nilai HRT yang dibutuhkan adalah selama 12 jam.

Tabel 2. Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter total koloni

Total Koloni			
HLR		**HRT**	
Variasi ($L/m^2/jam$)	CFU/mL	Variasi (jam)	CFU/mL
23,80	$1,32 \times 10^6$	4	$8,4 \times 10^5$
		6	$4,6 \times 10^5$
7,14	$5,5 \times 10^5$	8	$4,5 \times 10^5$
		10	$3,7 \times 10^5$
3,40	$3,6 \times 10^5$	12	$3,0 \times 10^5$

Sistem MSL yang digunakan pada eksperimen ini, kemungkinan terdapat proses filtrasi dan adsorpsi yang mempengaruhi pendegradasiannya terhadap bakteri pada air limbah domestik. Proses filtrasi dan adsorpsi pada sistem MSL ini merupakan mekanisme utama dari penghilangan bakteri. Selain itu, terdapat proses reduksi lainnya seperti sedimentasi, inaktivasi, dan kematian alami bakteri (Sbahi dkk., 2020). Kematian alami terhadap indikator mikroba bakteri dalam teknologi MSL merupakan hasil dari banyaknya proses inaktivasi dan dipengaruhi beberapa faktor seperti kadar oksigen, suhu dan pH (Latracha dkk., 2018). Jumlah bakteri patogen lebih tinggi tingkat kematiannya di lapisan kerikil permeabel karena adanya zona tak jenuh yang tidak terjangkau oleh "dead space" atau ruang mati pada air limbah. Kondisi dead space pada sistem MSL terjadi ketika ada ruang atau celah yang tidak direncanakan, sehingga harus dihindari karena berpotensi membuat air limbah diam dan tidak ikut tersikulasi, sehingga berpotensi terjadi pembentukan biofilm (Guan dkk., 2015). Kehadiran biofilm pada lapisan terluar bio ring, memungkinan adanya bakteri yang diam di dalam sistem MSL dan dapat berkembang biak, yang berpotensi meningkatkan pencemaran bakteri patogen dan mempengaruhi kualitas air limbah domestik selama perlakuan berlangsung.

3.3. Parameter COD

Hasil dan efektivitas pengujian COD air limbah domestik dengan variasi nilai HLR dan HRT dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian parameter COD, diperoleh nilai COD untuk sampel inlet adalah sebesar 3.886 mg/L dan 15.000 mg/L untuk variasi nilai HLR dan HRT secara berturut-turut. Tingginya kadar COD pada air limbah domestik ini kemungkinan dipengaruhi oleh zat-zat organik yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga seperti protein, karbohidrat, minyak dan lemak serta deterjen (Haribowo dkk., 2019).

Tabel 3. Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter COD

COD						
HLR			**HRT**			**Baku Mutu**
Variasi ($L/m^2/jam$)	mg/L	Ef. (%)	Variasi (jam)	mg/L	Ef. (%)	
23,80	228	94,0	4	2.153	86,0	100 mg/L
			6	671	95,5	
7,14	110	97,0	8	344	97,7	
			10	159	98,9	
3,40	53	98,6	12	92	99,0	

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa nilai COD untuk sampel outlet adalah 53 mg/L dengan efektivitas pengolahan sebesar 98,6% pada nilai HLR 3,40 $L/m^2/jam$ dan 92 mg/L pada nilai HRT selama 12 jam dengan efektivitas pengolahan sebesar 99,0%. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk/Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, kadar maksimum COD adalah 100 mg/L. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sampel outlet yang telah diolah dengan sistem MSL ini memenuhi baku mutu air limbah.

Penggunaan sistem MSL dengan variasi nilai HLR dan HRT, mampu mendegradasi nilai COD. Hal ini dikarenakan adanya kombinasi adsorpsi dan absorpsi dari penggunaan media filtrasi yang digunakan seperti bio ring, kerikil silika dan SMB yang mampu mendegradasi zat-zat organik, semakin berkurangnya zat-zat organik dalam limbah maka akan menurunkan nilai COD (Ivontianti dkk., 2022). Penyebab menurunnya kadar COD yang dapat dilihat pada Tabel 3, yaitu kemungkinan dari lapisan bio ring yang memiliki memiliki permukaan luas dan pori-pori yang memungkinkan pertumbuhan dan penyebaran mikroorganisme di dalamnya. Mikroorganisme yang hidup pada permukaan bio ring, seperti bakteri aerob dan anaerob, akan memetabolisme zat-zat organik pada air limbah sebagai sumber nutrisi (El-Halafawy dkk., 2023). Proses metabolisme ini akan menghasilkan enzim dan senyawa organik yang memecah zat-zat organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan stabil. Dalam proses ini, bio ring akan berfungsi sebagai tempat yang ideal untuk pertumbuhan mikroorganisme, sehingga mempercepat dan meningkatkan efektivitas

penguraian zat-zat organik dalam air limbah (Al Kholif dkk., 2022).

Selain itu, bio ring juga mampu menyediakan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme dengan optimal, seperti suhu, pH, dan kadar oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme. Kondisi optimal ini dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme dan mempercepat penguraian zat-zat organik pada air limbah, sehingga dapat menurunkan kadar COD pada air limbah domestik (El-Halafawy dkk., 2023).

3.4. Parameter TSS

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, konsentrasi TSS dalam limbah cair domestik sebelum diolah adalah 255 mg/L dan 226 mg/L, setelah dilakukan proses pengolahan, nilai TSS menurun menjadi 25 mg/L dan 87 mg/L dengan efektivitas penurunan masing-masing sebesar 98,6% dan 67,0% pada variasi nilai HLR dan HRT. Adapun secara rinci nilai kadar TSS dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter TSS

TSS						
HLR			**HRT**			**Baku Mutu**
Variasi ($L/m^2/jam$)	mg/L	Ef. (%)	Variasi (jam)	mg/L	Ef. (%)	
23,80	183	28,0	4	200	25	30 mg/L
			6	196	26	
7,14	65	75,0	8	150	44	
			10	137	49	
3,40	25	98,6	12	87	67	

Berdasarkan data pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa nilai HRT selama 12 jam belum optimal dalam mendegradasi padatan tersuspensi hingga mencapai batas maksimal baku mutu air limbah domestik yang berlaku. Hal ini terjadi karena waktu kontak antara limbah dengan lapisan sistem MSL masih kurang untuk mendegradasi polutan pada nilai HRT 12 jam. Kadar TSS pada sampel outlet mencapai 87 mg/L. Sebaliknya, pada nilai HLR 3,40 $L/m^2/jam$, kadar padatan tersuspensi hanya mencapai 25 mg/L, yang menunjukkan bahwa variasi HLR lebih optimal dalam mendegradasikan TSS. Hal ini disebabkan oleh waktu detensi pada nilai HLR 3,40 $L/m^2/jam$ selama 21 jam, yang memungkinkan air limbah memiliki waktu kontak yang lebih lama dengan lapisan permeabel seperti bio ring, kerikil, dan lapisan absorpsi berupa SMB. Lapisan SMB yang mengandung serbuk arang dan besi, bersamaan dengan kombinasi bio ring dan kerikil silika, terbukti sangat baik dalam menyaring limbah cair domestik.

3.5. Parameter pH

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa variasi nilai HLR dan HRT dalam proses pengolahan air limbah mempengaruhi perubahan terhadap nilai pH. Sebelum dilakukan eksperimen dengan sistem MSL, nilai pH limbah cair domestik adalah 9,5 dan 11,4. Namun, setelah dilakukan eksperimen, nilai pH mencapai pH netral pada nilai HLR 3,40 $L/m^2/jam$ dan HRT 12 jam, yaitu menjadi 7,3 dan 7,8. Perubahan nilai pH ini dapat dilihat pada Tabel 5, yang menunjukkan penetralan nilai pH seiring dengan penurunan nilai HLR dan peningkatan nilai HRT.

Tabel 5. Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter pH

pH				
HLR		**HRT**		**Baku Mutu**
Variasi ($L/m^2/jam$)	nilai pH	Variasi (jam)	nilai pH	
23,80	8,3	4	9,5	6 – 9
		6	9,3	
7,14	7,8	8	8,4	
		10	7,8	
3,40	7,3	12	7,6	

Perubahan nilai pH ini dipengaruhi oleh media pada sistem MSL yang digunakan. Limbah cair domestik yang melewati lapisan permeabel akan diikat anionnya karena bahan silika yang terdapat pada bio ring dan kerikil bermuatan positif untuk penyeimbangan ion sehingga yang tertinggal adalah ion-ion positifnya. Hal ini dikarenakan silika mengandung asam silikat dalam bentuk H_4SiO_4. Adapun bahan silikat tersedia dalam bentuk polimer SiO_2 yang mampu menurunkan pH air dengan reaksi berikut (Chirunnisa dkk., 2021):

$$SiO_2 + 2H_2O \rightarrow H_4SiO_4$$
$$H_4SiO_4 \rightarrow H^+ + H_3SiO_4^-$$

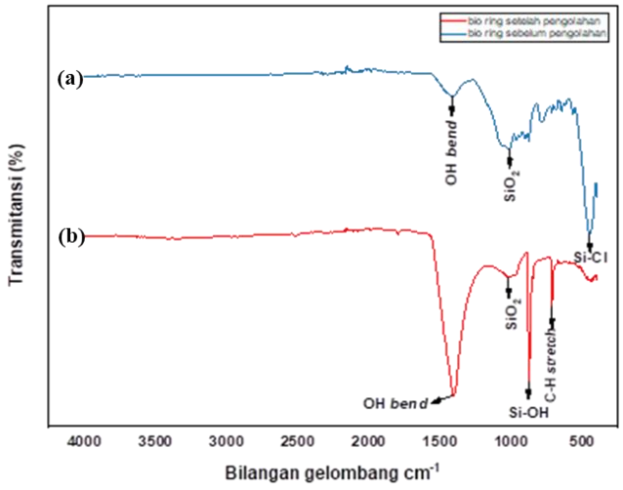
Berdasarkan reaksi tersebut, SiO_2 pada lapisan permeabel MSL dapat menyumbangkan H^+ sehingga berpotensi menurunkan pH pada air limbah domestik.

Proses absorpsi pada lapisan SMB juga kemungkinan berperan dalam perubahan nilai pH. Hal ini terjadi karena tanah andosol memiliki kemampuan untuk menetralkan pH dengan menahan kation asam seperti

H^+ dan Al^{3+} serta kation basa seperti Ca^+, Mg^+, Na^+, dan K^+. Ketika air limbah berada dalam kondisi basa, maka terjadi pertukaran kation basa dengan kation asam dan sebaliknya (Data dkk., 2006). Pertukaran tersebut dapat menyebabkan perubahan pH baik yang disebabkan oleh tanah itu sendiri maupun oleh zat lain yang terdapat atau melewati air limbah (Rukmana dkk., 2019). Diketahui bahwa tanah memiliki kemampuan penetralan (buffering capacity) yang tinggi untuk menetralkan perubahan kondisi kimia dan fisika akibat aktivitas mikroorganisme dan reaksi fisik yang terjadi saat pengolahan limbah cair domestik dalam sistem MSL (Putra dan Fitri, 2019).

3.6. Karakterisasi FTIR pada Bio Ring

Gambar 2 menunjukkan dua spektrum FTIR bio ring, spektrum (a) merupakan spektrum bio ring sebelum pengolahan dan spektrum (b) merupakan bio ring setelah pengolahan. Gugus fungsi yang muncul pada media bio ring sebelum pengolahan dan setelah pengolahan memiliki intensitas transmitansi yang hampir sama dengan puncak ketajaman yang berbeda terhadap pita adsorpsi masing-masing gugus fungsi. Pita adsorpsi OH pada media bio ring sebelum pengolahan muncul pada bilangan gelombang 1408,37 cm^{-1} dan setelah pengolahan pada bilangan gelombang 1406,71 cm^{-1}, adanya pita OH yang tajam pada bio ring setelah pengolahan menandakan terjadinya reaksi pengikatan senyawa basa pada air limbah domestik oleh senyawa asam silika. Adapun senyawa silika (SiO_2) terdapat pada bilangan gelombang 1030,26 cm^{-1} dan 1042,2 cm^{-1}.



Gambar 1. Spektrum FTIR bio ring sebelum pengolahan (a) dan sesudah pengolahan (b)

Pada Gambar 2 spektrum (b) diperolah gugus fungsi silanol (Si-OH) yang tajam pada bilangan gelombang 960 cm^{-1}, hal ini mengindikasikan bahwa adanya senyawa silika yang mengandung gugus hidroksil. Gugus fungsi Si-OH diketahui berperan penting dalam pendegradasian bakteri koliform, yang mana gugus hidroksil pada silika memiliki kemampuan untuk melarutkan lipid pada membran luar bakteri gram negatif seperti bakteri koliform dan E. coli, yang mampu membuat kerusakan membran dan mengganggu fungsi pertahanan luar bakteri (Sepvianti dkk., 2022). Selanjutnya, gugus fungsi silika klorida (Si-Cl) muncul pada spektrum (a) di bilangan gelombang 471 cm^{-1}, namun pada spektrum (b) pita Si-Cl menjadi lemah dikarenakan adanya proses adsorpsi oleh silika dan pengikatan lemak dan protein oleh asam klorida sehingga membentuk gugus fungsi baru (Ma dkk., 2020).

Adapun gugus fungsi C-H stretch muncul pada bilangan gelombang 711,8 cm^{-1} terhadap spektrum (b), gugus hidrokarbon (C-H) bersifat hidrofobik dan termasuk golongan lipid yang merupakan kelompok senyawa organik seperti lemak, minyak dan molekul lainnya yang tidak larut dalam air (Imamah dan Muti'ah, 2020). Adanya gugus fungsi C-H pada spektrum bio ring setelah pengolahan mengindikasikan terjadinya adsorpsi lemak dan minyak dari limbah cair domestik oleh bio ring. Tabel 6 (Lampiran) merupakan analisa spektrum FTIR pada bio ring.

4. KESIMPULAN

Pengolahan limbah cair domestik menggunakan metode MSL dapat menurunkan kadar total koliform, total koloni, COD, TSS dan menetralkan pH. Hasil dari pengolahan limbah cair domestik menggunakan nilai HLR 3,40 L/m^2/jam pada parameter total koliform dari $1,89 \times 10^5$ MPN/100mL menjadi 6×10^2 MPN/100mL, total koloni dari $5,95 \times 10^6$ CFU/mL menjadi $3,6 \times 10^5$ CFU/mL, parameter COD senilai 53 mg/L dengan efektivitasnya 98,6%, parameter TSS senilai 25 mg/L dengan efektivitas penurunannya 98,6% dan mengalami perubahan nilai pH menjadi 7,3. Adapun pendegradasian kadar parameter menggunakan nilai HRT selama 12 jam pada total koliform dari $1,16 \times 10^4$ MPN/100mL menjadi 9×10^2 MPN/100mL, total koloni dari $4,91 \times 10^6$ CFU/mL menjadi $3,0 \times 10^5$ CFU/mL, parameter COD senilai 92 mg/L dengan efektivitasnya 99%, parameter TSS senilai 87 mg/L dengan efektivitas penurunannya 67% dan mengalami perubahan nilai pH menjadi 7,6.

DAFTAR PUSTAKA

Aba, R. P., Mugani, R., Hejjaj, A., Fraissinette, N. B. De, Oudra, B., Ouazzani, N., Campos, A., Vasconcelos, V., Carvalho, P. N., dan Mandi, L. (2021). *First Report on Cyanotoxin (MC-LR) Removal from Surface Water by Multi-Soil-Layering (MSL) Eco-Technology: Preliminary Results*.

Abu-Sini, M. K., Maharmah, R. A., Abulebdah, D. H., dan Al-Sabi, M. N. S. (2023). Isolation and Identification of Coliform Bacteria and Multidrug-Resistant Escherichia coli from Water Intended for Drug Compounding in Community Pharmacies in Jordan. *Healthcare (Switzerland)*, *11*(3), 1–10. https://doi.org/10.3390/healthcare11030299

Al Kholif, M., Rohmah, M., Nurhayati, I., Adi Walujo, D., dan Dian Majid, D. (2022). Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, *14*(2), 100–113. https://journal.uii.ac.id/JSTL/article/view/23979

Andrade, G. F., Soares, D. C. F., Almeida, R. K. D. S., dan Sousa, E. M. B. (2012). Mesoporous Silica SBA-16 Functionalized with alkoxysilane groups: Preparation, Characterization, and Release Profile Study. *Journal of Nanomaterials*, *2012*.

Arora, S., dan Saraswat, S. (2021). Vermifiltration as a Natural, Sustainable and Green Technology for Environmental Remediation: A New Paradigm for Wastewater Treatment Process. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *4*(October 2020), 100061. https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100061

Artidarma, B. S., Fitria, L., dan Sutrisno, H. (2021). Pengolahan Air Bersih dengan Saringan Pasir Lambat menggunakan Pasir Pantai dan Pasir Kuarsa. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *09*(2), 71–81.

Chirunnisa, C., Hanum, H., dan Mukhlis. (2021). *Peran Beberapa Bahan Silikat (Si) dan Pupuk Fosfat (P) dalam Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Andisol dan Pertumbuhan Tanaman*. *50*(February), 3–10.

Data, R. U. S. A., Masunaga, T., dan Wakatsuki, T. (2006). Aplikasi MSL (Multi Soil Layering) untuk Mengolah Edible Oil. In *Journal of Materials and Environmental Science* (Vol. 136, Issue 1, pp. 227–238).

El-Halafawy, R., Fouad, H., Elhefny, R., dan Hassanin, A. (2023). The Efficiency of Ceramic Rings and Bio Media in BAFs Application in Wastewater Treatment According to Flow Changes. *Engineering Research Journal - Faculty of Engineering (Shoubra)*, *52*(1), 81–86. https://doi.org/10.21608/erjsh.2022.159848.1084

Fathallah, A. Z. M., Alami, N. H., dan Muzaffar, R. C. (2020). Analysis of the Application of Silica Gel and Iron Powder in Fuel Tank Storage to Reduce Biodiesel Degradation Rate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *557*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/557/1/012066

Ge, L., dan Liu, Q. (2022). Preparation and Characterization of Diene Rubbers/Silica Composites via Reactions of Hydroxyl Groups and Blocked Polyisocyanates. *Polymers*, *14*(3). https://doi.org/10.3390/polym14030461

Guan, Y., Zhang, Y., Zhong, C. N., Huang, X. F., Fu, J., dan Zhao, D. (2015). Effect of Operating Factors on The Contaminants Removal of A Soil Filter: Multi-Soil-Layering System. *Environmental Earth Sciences*, *74*(3), 2679–2686. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4288-8

Haribowo, R., Megah, S., dan 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

Hidayah, E. N., Djalalembah, A., Asmar, G. A., dan Cahyonugroho, O. H. (2018). Pengaruh Aerasi dalam Constructed Wetland pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *16*(2), 155. https://doi.org/10.14710/jil.16.2.155-161

Imamah, S., dan Muti'ah, R. (2020). Studi Proses Mekanisme Pengontrolan Sintesis Lipid. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, *3*(1), 565–571.

Ivontianti, W. D., Sitanggang, E. P. O., dan Rezeki, E. S. (2022). Pengolahan Limbah Cair Lindi Menggunakan Multi Soil Layering (MSL) Bebasis Lumpur PDAM. *Jurnal Rekayasa Hijau*, *5*(3), 228–237. https://doi.org/10.26760/jrh.v5i3.228-237

Kasman, M., Herawati, P., dan Hadrah, H. (2021).

Pengaruh Hydraulic Loading Rate (Hlr) Terhadap Pengolahan Leachate Dengan Menggunakan Metoda Multi Soil Layering (Msl). *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, *1*(2), 1–8. https://doi.org/10.36441/seoi.v1i2.178

Latrach, L., Ouazzani, N., Masunaga, T., Hejjaj, A., Bouhoum, K., Mahi, M., dan Mandi, L. (2019). Domestic wastewater disinfection by combined treatment using multi-soil-layering system and sand filters (MSL-SF): A laboratory pilot study. *Ecological Engineering*, *91*, 294–301. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.02.036

Latracha, L., Ouazzani, N., Hejjaj, A., Mahi, M., Masunaga, T., dan Mandi, L. (2018). 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

Latracha, L., Ouazzani, N., Masunagac, T., Hejjaj, A., Bouhoumb, K., Mahi, M., dan Mandi, L. (2016). *Rekayasa Ekologi Desinfeksi air limbah domestik dengan pengolahan gabungan menggunakan sistem multi-lapisan tanah dan filter pasir (MSL-SF): Studi percontohan laboratorium*. *91*, 294–301.

Ma, Y., Wu, Y., Lee, J. G., He, L., Rother, G., Fameau, A. L., Shelton, W. A., dan Bharti, B. (2020). Adsorption of Fatty Acid Molecules on Amine-Functionalized Silica Nanoparticles: Surface Organization and Foam Stability. *Langmuir*, *36*(14), 3703–3712. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00156

Malia Nurmalika, L., dan Khoirunnisa Apriyani, R. (2021). Identifikasi Bakteri Coliform pada Air Rendaman Tahu yang Dijual di Pasar Induk Kota Bandung. *PREPOTIF : Jurnal Kesehatan Masyarakat*, *5*(2), 1118–1125. https://doi.org/10.31004/prepotif.v5i2.2040

Marantiah, D. (2019). *Penentuan Beberapa Parameter Mutu Air Limbah Domestik Di Instalasi Pengolahan Air Limbah Perusahaan Daerah Air Minum Tirtanadi Cemara Medan*. 1–45.

Mohamed, W.-A. W.-, Hamdan, R., Othman, N., Razi, M.-A. M.-, Zin, N.-S. M.-, dan Arshad, N.-A.-N. M.-. (2018). The Effect of Dissolved Oxygen Distribution on Ammonium Nitrogen Removal in a Pilot-Scale of Vertical Upward-Flow of Aerated Electric Arc Furnace Slag Filter Systems at Various Hydraulic Loading Rates. *International Journal of Engineering dan Technology*, *7*(4.30), 363. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.30.22315

Mugani, R., Aba, R. P., Hejjaj, A., El Khalloufi, F., Ouazzani, N., Almeida, C. M. R., Carvalho, P. N., Vasconcelos, V., Campos, A., Mandi, L., dan Oudra, B. (2022). Multi-Soil-Layering Technology: A New Approach to Remove Microcystis aeruginosa and Microcystins from Water. *Water*, *14*(5), 686. https://doi.org/10.3390/w14050686

Muhsinin, N. (2019). Pengolahan Air Limbah Domestik secara Fitoremediasi Sistem Constructed Wetland dengan Tanaman Pandanus amaryllifolius dan Azolla microphilla. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.

Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., dan Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscope of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, *4*(1), 97–118.

Ningrum, A. S., Syafrudin, dan Sudarno. (2018). Pengaruh Hydraulic Loading Rate (HLR) dan Konsentrasi Influen terhadap Penyisihan Parameter BOD, COD, dan Nitrat pada Pengolahan Air Limbah Domestik Campuran (Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *3*(1).

Pazdar, S., Eslamian, S., Hosseini-Teshnizi, S. Z., Ostad-Ali-Askari, K., Gholami, H., Gholami, H., Dehghan, S., Haeri-Hamedani, M., Ghane, M., dan Singh, V. P. (2019). Removal of Coliform Content in Sewage Treatment Plant Using a Sand Filtration System with Potassium Permanganate Powder. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, *12*(2), 309–318. https://doi.org/10.3844/ajeassp.2019.309.318

Putra, A., dan Fitri, W. E. (2019). Efektivitas Multi Soil Layering Dalam Mereduksi Limbah Cair Industri Kelapa. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, *2*(2), 1–15. https://doi.org/10.31602/dl.v2i2.2394

Rois, I., Pranoto, dan Sunarto. (2018). *Aplikasi Alofan dalam Tanah Andisol sebagai Adsorben untuk Menurunkan Bakteri Coliform Limbah Cair Domestik*. *14*(2).

Rukmana, A., Susilawati, H., dan Galang. (2019). Pencatatan pH Tanah Otomatis. *Jurnal*

Penelitian Dan Pengembangan Teknik Elektro Telekomunikasi Indonesia, *10*(1), 25–32.

Sa'diyah, K., Syarwani, M., dan Udjiana, S. S. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Kombinasi Settlement Tank dan Fixed-Bed Coloumn Up-Flow. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, *2*(2), 84. https://doi.org/10.33795/jtkl.v2i2.72

Samal, K., Dash, R. R., dan Bhunia, P. (2018). Effect of Hydraulic Loading Rate and Pollutants Degradation Kinetics in Two Stage Hybrid Macrophyte Assisted Vermifiltration System. *Biochemical Engineering Journal*, *132*, 47–59. https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.01.002

Sbahi, S., Ouazzani, N., Latrach, L., Hejjaj, A., dan Mandi, L. (2020). Predicting the Concentration of Total Coliforms in Treated Rural Domestic Wastewater by Multi-Soil-Layering (MSL) Technology using Artificial Neural Networks. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *204*(August), 111118. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111118

Sepvianti, W., Btari, S., dan Kusumaningrum, C. (2022). Antibacterial Activity of 2'-hidroxy-4', 6'dimethoxychalcone. *Journal of Health*, *6*(1), 37–39.

Tian, B., dan Liu, Y. (2021). Antibacterial Applications and Safety Issues of Silica-based Materials: A review. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, *18*(2), 289–301. https://doi.org/10.1111/ijac.13641

Verawati, N., Aida, N., dan Aufa, R. (2019). Analisa Mikrobiologi Cemaran Bakteri Coliform Dan Salmonella Sp Pada Tahu Di Kecamatan Delta Pawan. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, *6*(1), 61. https://doi.org/10.34128/jtai.v6i1.90

Yudo, S., dan Said, N. I. (2018). Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, *10*(2), 58–75. https://doi.org/10.29122/jrl.v10i2.2847

Zulti, F., Dahlan, K., dan Sugita, P. (2013). Adsorption of Waste Metal Cr(VI) with Composite Membranes (Chitosan-Silica Rice Husks). *MAKARA of Science Series*, *16*(3).