

**EFEKTIVITAS METODE *MULTI SOIL LAYERING* (MSL)
DALAM PENURUNAN TOTAL KOLIFORM LIMBAH
CAIR DOMESTIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

AISHA SHAKIRA

NIM. 190702068

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM BANDA ACEH
2023 M/1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS METODE *MULTI SOIL LAYERING* (MSL)
DALAM PENURUNAN TOTAL KOLIFORM LIMBAH CAIR
DOMESTIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai salah satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

AISHA SHAKIRA

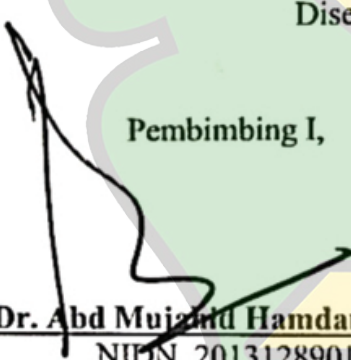
NIM. 190702068

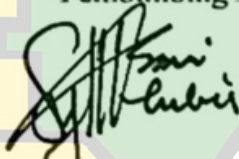
**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:


Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Abd Mujiand Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901


Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIDN. 20250 48003

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**EFEKTIVITAS METODE *MULTI SOIL LAYERING* (MSL)
DALAM PENURUNAN TOTAL KOLIFORM LIMBAH CAIR
DOMESTIK**

TUGAS AKHIR

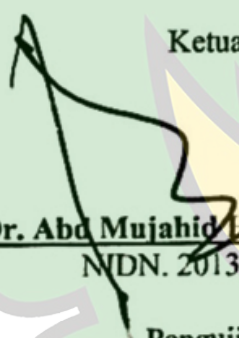
Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

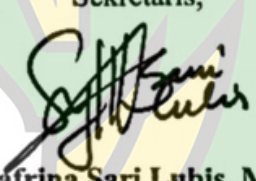
Pada Hari/Tanggal: Jumat, 26 Mei 2023
05 Dzulqa'dah 1444

di Darussalam, Banda Aceh
Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

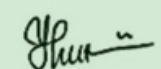
Sekretaris,

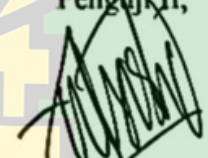

Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901


Syafrina Sari Lubis, M.Si.
NIDN. 20250 48003


Penguji I,

Penguji II,


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301


Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh


Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aisha Shakira
NIM : 190702068
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Efektivitas Metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Penurunan Total Koliform Limbah Cair Domestik

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data; dan
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 12 April 2023

Menyatakan,



The image shows a 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METER', 'TEKAPAL', and 'FOBAKX3475/0425'. A handwritten signature is written over the stamp.

Aisha Shakira

ABSTRAK

Nama : Aisha Shakira
NIM : 190702068
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas Metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Penurunan Total Koliform Limbah Cair Domestik
Tanggal Sidang : 26 Mei 2023
Jumlah Halaman : 122
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
Pembimbing II : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Kata Kunci : Limbah cair domestik, *Multi Soil Layering* (MSL), *bio ring*, total koliform dan total koloni

Limah cair domestik merupakan air limbah yang berasal dari kegiatan sehari-hari di rumah tangga seperti mencuci, mandi, dan mencuci piring. Salah satu parameter penting dalam mengukur kualitas air limbah domestik adalah jumlah mikroorganisme koliform. Kehadiran koliform dalam air limbah domestik mengindikasikan kontaminasi oleh tinja manusia atau hewan, yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas metode MSL menggunakan *bio ring* dalam menurunkan parameter pencemar limbah cair domestik terkhusus total koliform. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) 23,80 L/m²/jam, 7,14 L/m²/jam dan 3,40 L/m²/jam dan variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) selama 4, 6, 8, 10 dan 12 jam. Hasil dari pengolahan limbah cair domestik menggunakan metode MSL menggunakan variasi HLR pada 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 *chemical oxygen demand* senilai 53 mg/L dengan efektivitasnya 98,6%, parameter *total suspended solid* senilai 25 mg/L dengan efektivitas penurunannya 98,6% dan mengalami perubahan nilai *potential of hydrogen* menjadi 7,3 pada variasi HLR 3,40 L/m²/jam. Adapun menggunakan variasi 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 *chemical oxygen demand* senilai 92 mg/L dengan efektivitasnya 99%, parameter *total suspended solid* senilai 87 mg/L dengan efektivitas penurunannya 67% dan mengalami perubahan nilai *potential of hydrogen* menjadi 7,6. Oleh karena itu, metode MSL dengan pemanfaatan *bio ring* sebagai lapisan permeabelnya dapat dijadikan alternatif baru pada pengolahan limbah cair domestik.

ABSTRACT

Name : Aisha Shakira
Student ID Number : 190702068
Department : Environmental Engineering
Title : *The Effectiveness of Multi Soil Layering (MSL) Method for Reducing Total Coliform in Domestic Wastewater*
Date of Session : 26 May 2023
Number of page : 122
Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
Advisor II : Syafrina Sari Lubis, M.Si
Keywords : *Domestic wastewater, Multi Soil Layering (MSL), bio ring, total coliform, total colony, Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS) and pH*

Domestic liquid waste refers to wastewater originating from routine household activities, including laundering, bathing, and dishwashing. Among the pivotal metrics for assessing the caliber of domestic wastewater, the tally of coliform microorganisms assumes significance. The occurrence of coliform within domestic wastewater signifies the potential contamination by human or animal excrement, thereby posing a substantial risk to public health. This research employs Multi Soil Layering (MSL), an environmentally friendly technology, to remove coliform bacteria contaminants from wastewater using a novel alternative medium. The MSL method has been extensively applied to the treatment of various types of liquid waste, including domestic, industrial, etc. In general, perlite or zeolite is used as the permeable layer in the MSL layer. However, neither domestic nor industrial wastewater treatment utilizes a permeable bio ring layer. 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/m²/hour, 7.14 L/m²/hour, and 3.40 L/m²/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 a reduction effectiveness of 98.6% and the pH value changes to 7.3 at the HLR variation of 3.40 L/m²/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 a reduction effectiveness of 67% and the potential of hydrogen value changes to 7.6. Therefore, the MSL method employing bio rings as a permeable layer can be used as a new option for domestic effluent treatment.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Swt. yang telah memberikan kesempatan dan melimpahkan karunia-Nya, khususnya terhadap karunia nikmat iman dan islam, dengan keduanya kemudian diperoleh kebahagiaan dunia dan akhirat. Selawat beriring Salam tidak lupa dihaturkan kepada Baginda Nabi Muhammad saw., dan atas keluarga dan juga sahabat beliau serta dengan orang-orang mukmin yang senantiasa mengikuti jejak langkah beliau hingga akhir zaman.

Ucapan rasa syukur kepada Allah Swt. karena tugas akhir ini telah dapat penulis selesaikan. Penulis mengangkat judul tugas akhir yaitu “Efektivitas Metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Penurunan Total Koliform Limbah Cair Domestik”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata I pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Tugas akhir ini telah penulis susun dengan maksimal yang melibatkan bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan tugas akhir dari awal sampai dengan selesai. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Ayahanda Syukrianto dan Ibunda Dewi Herafiana selaku kedua orang tua dari penulis yang telah senantiasa mendukung dan memberikan semangat dalam pembuatan tugas akhir ini. Kemudian, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan selaku dosen penguji II penulis dalam pelaksanaan seminar proposal tugas akhir.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

4. Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc. selaku dosen Pembimbing Akademik Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry serta sebagai dosen pembimbing I, terima kasih atas segala arahan dan bimbingannya.
5. Ibu Syafrina Sari Lubis, M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penulisan tugas akhir dan selaku dosen penguji I penulis dalam pelaksanaan seminar proposal tugas akhir.
6. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan FST UINAR Banda Aceh yang telah memberikan dan mengajarkan ilmu kepada penulis.
7. Ibu Firda Elvisa, S.Pd., dan Ibu Nurul Huda, S.Pd. yang telah membantu dalam proses administrasi.
8. Ibu Nurul Huda, S.Pd., selaku laboran Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dalam pengurusan pelaksanaan penelitian di laboratorium.
9. Cut Faradila Chikana, Hilwa Nabila, dan Rana Zakirah yang selalu membantu dan memberikan semangat.
10. Ama Mullah, Hidayatullah, Sayed Abdul Jabbar, Luthfi, Ayu Suriani dan Zarifatul Maufunna yang selalu membantu dan memberikan semangat.
11. Teman seangkatan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh 2019.
12. Jodoh penulis kelak, kamu adalah salah satu alasan penulis menyelesaikan skripsi ini, meskipun saat ini penulis tidak mengetahui keberadaanmu. Karena penulis yakin bahwa sesuatu yang ditakdirkan menjadi milik kita akan menuju kepada kita bagaimanapun caranya.
13. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for always being a giver and trying to give more than I receive. I wanna thank me for trying do more right than wrong, I wanna thank me for just being me all times.*

Penulis berharap Allah Swt. berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penulisan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat menjadi manfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Banda Aceh, 26 Mei 2023

Penulis,

Aisha Shakira



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	v
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Prinsip Pengolahan Air Limbah	6
2.2 Karakteristik Air Limbah	7
2.3 Parameter Air Limbah.....	10
2.4 Standar Baku Mutu Air Limbah.....	12
2.5 Pengolahan Air Limbah	13
2.6 Metode <i>Multi Soil Layering</i> (MSL)	15
2.6.1 <i>Hydraulic Loading Rate</i> (HLR)	16
2.6.2 <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT).....	17
2.7 Lapisan <i>Multi Soil Layering</i> (MSL).....	17
2.8 Material pada Lapisan <i>Multi Soil Layering</i> (MSL).....	17
2.8.1 <i>Bio Ring</i>	17
2.8.2 Kerikil.....	19
2.8.3 <i>Soil Mixture Block</i> (SMB).....	19
2.9 Mekanisme Kerja MSL	19

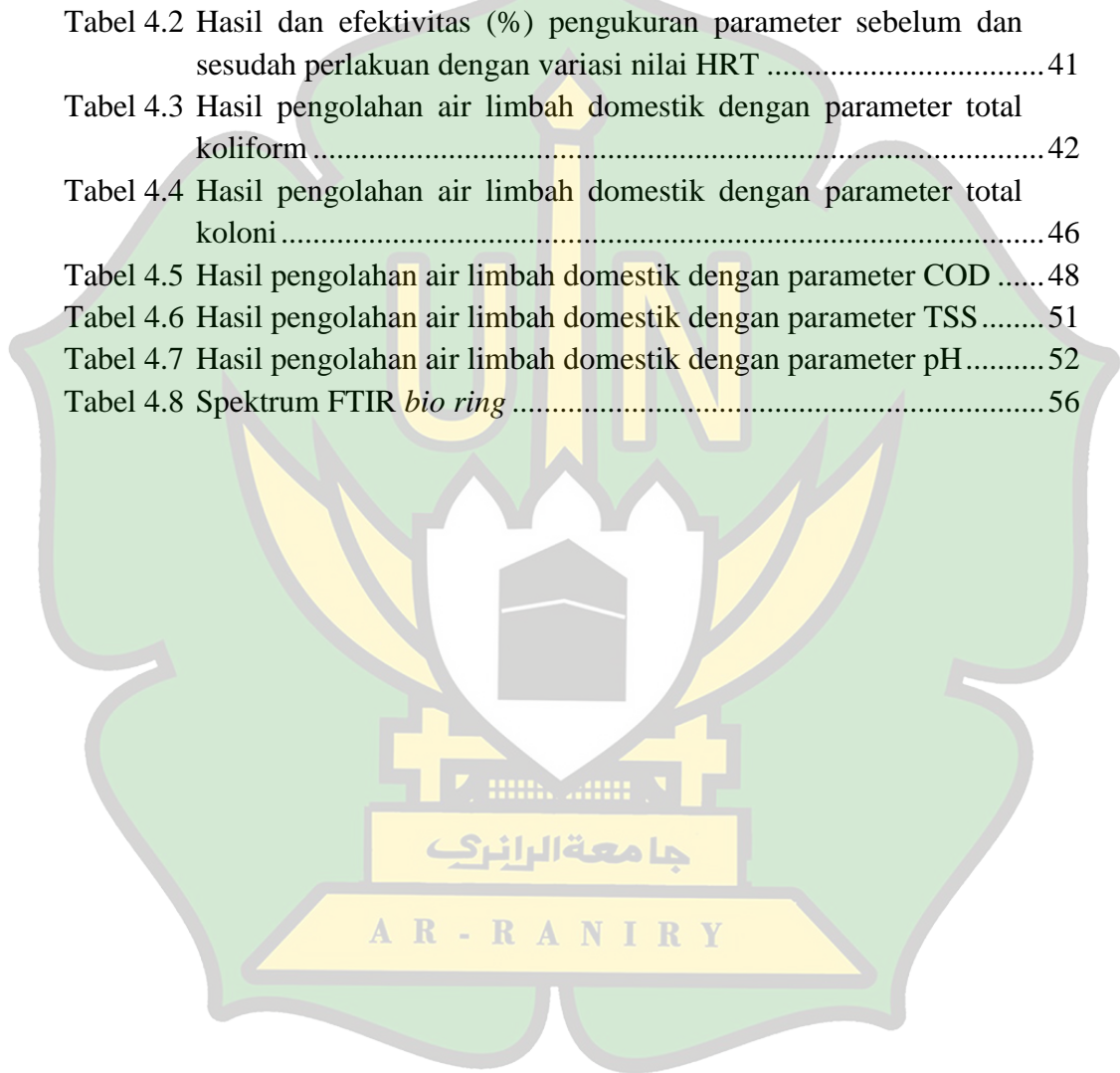
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Rancangan Penelitian	23
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.2.1 Lokasi Pengambilan Sampel	23
3.2.2 Waktu Penelitian	25
3.3 Eksperimen.....	26
3.3.1 Desain Reaktor	26
3.3.2 Metode Sampling Air Limbah.....	27
3.4 Instrumen, Alat, dan Bahan Penelitian.....	30
3.5 Prosedur Pengujian Sampel.....	31
3.6 Prosedur Karakterisasi FTIR <i>Bio Ring</i>	35
3.7 Analisis Data	36
3.7.1 Efektivitas MSL (<i>Multi Soil Layering</i>)	36
3.7.2 Pengolahan Data melalui SPSS	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Efektivitas Metoda <i>Multi Soil Layering</i> (MSL).....	38
4.1.1 Efektivitas MSL dengan Variasi HLR	38
4.1.2 Efektivitas MSL dengan Variasi HRT	40
4.1.3 Parameter Kadar Total Koliform.....	42
4.1.4 Parameter Total Koloni	46
4.1.5 Parameter COD	48
4.1.6 Parameter TSS	50
4.1.7 Parameter pH	52
4.2 Karakterisasi FTIR pada <i>Bio Ring</i>	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Media <i>bio ring</i>	18
Gambar 2.2	Komposisi media <i>bio ring</i> (El-Halafawy dkk., 2023)	18
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian	23
Gambar 3.2	Peta lokasi pengambilan sampel	24
Gambar 3.3	Desain reaktor <i>Multi Soil Layering</i> (MSL) (Ren., 2022).....	25
Gambar 3.4	Skema pengolahan air limbah domestik dengan variasi HLR (Latracha dkk., 2018).....	28
Gambar 3.5	Pengaplikasian skema pengolahan air limbah domestik dengan variasi HLR.....	28
Gambar 3.6	Proses preparasi sampel <i>bio ring</i>	36
Gambar 4.1	Limbah cair domestik (a) sebelum eksperimen, (b) sedimentasi awal, (c) HLR 23,8 L/m ² /jam, (d) HLR 7,14 L/m ² /jam dan (e) HLR 3,4 L/m ² /jam	38
Gambar 4.2	Limbah cair domestik (a) sebelum eksperimen, (b) Reaktor kontrol, (c) HRT 4 jam, (d) HRT 6 jam, (e) HRT 8 jam, (f) HRT 10 jam dan (g) HRT 12 jam.....	40
Gambar 4.3	Grafik diagram batang konsentrasi total koliform (MPN/100mL) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b).....	43
Gambar 4.4	Mekanisme pendegradasian total koliform pada sistem MSL.....	44
Gambar 4.5	Bio ring sebelum pengolahan (a) dan bio ring setelah pengolahan (b)	45
Gambar 4.6	Grafik diagram batang konsentrasi total koloni (CFU/mL) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)	47
Gambar 4.7	Grafik diagram batang COD (mg/L) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)	49
Gambar 4.8	Grafik diagram batang TSS (mg/L) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)	51
Gambar 4.9	Grafik diagram batang pH dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)	53
Gambar 4.10	Spektrum FTIR bio ring sebelum pengolahan (a) dan sesudah pengolahan (b)	55

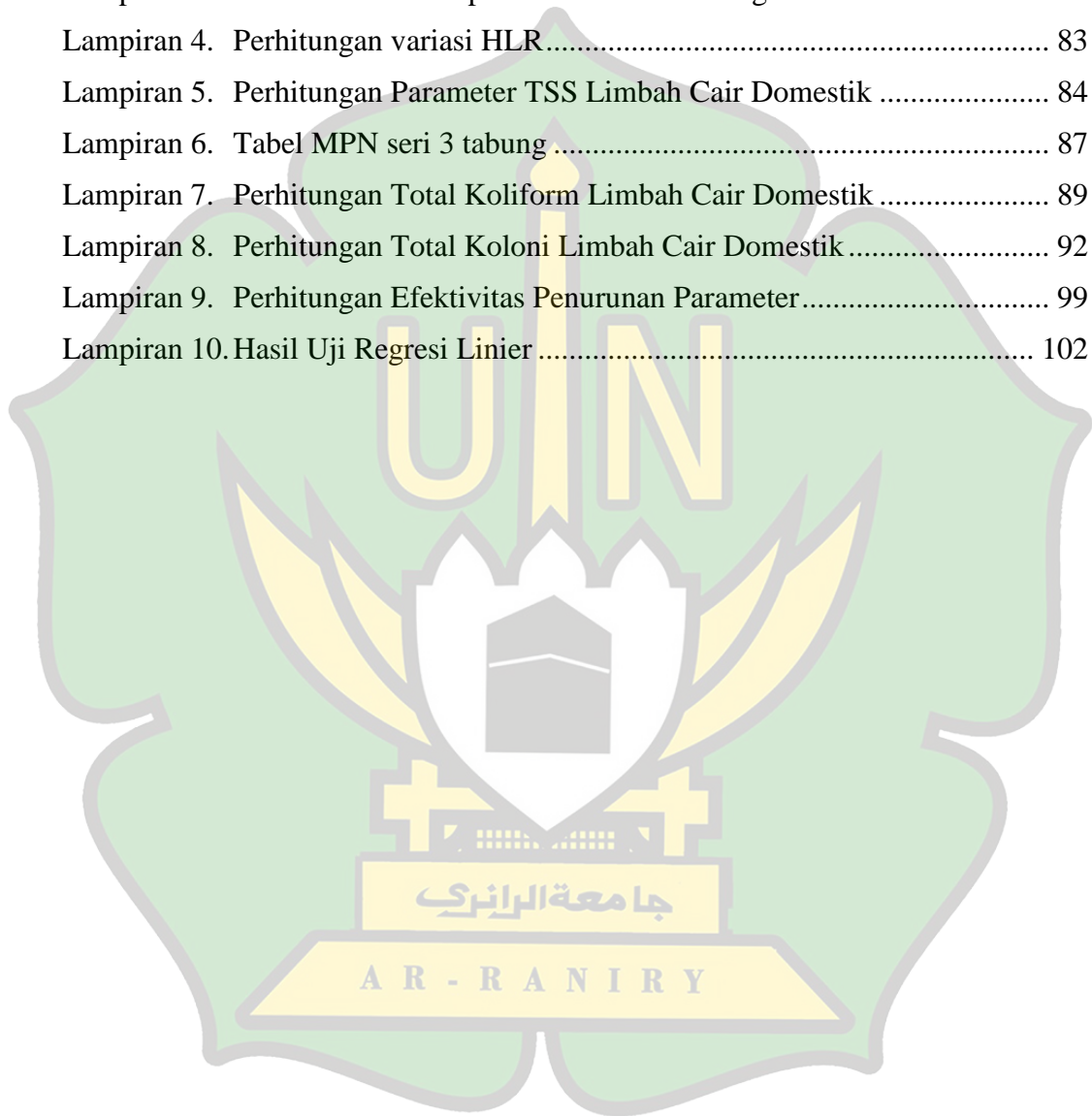
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku mutu air limbah domestik	12
Tabel 2.2 Penelitian terdahulu tentang penggunaan metode MSL.....	21
Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian.....	25
Tabel 4.1 Hasil dan efektivitas (%) pengukuran parameter sebelum dan sesudah perlakuan dengan variasi nilai HLR	39
Tabel 4.2 Hasil dan efektivitas (%) pengukuran parameter sebelum dan sesudah perlakuan dengan variasi nilai HRT	41
Tabel 4.3 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter total koliform	42
Tabel 4.4 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter total koloni.....	46
Tabel 4.5 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter COD	48
Tabel 4.6 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter TSS.....	51
Tabel 4.7 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter pH.....	52
Tabel 4.8 Spektrum FTIR <i>bio ring</i>	56



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Standar Baku Mutu	71
Lampiran 2. Metode Pengambilan Contoh Sampel.....	72
Lampiran 3. Dokumentasi Tahapan Perlakuan dan Pengukuran.....	73
Lampiran 4. Perhitungan variasi HLR.....	83
Lampiran 5. Perhitungan Parameter TSS Limbah Cair Domestik	84
Lampiran 6. Tabel MPN seri 3 tabung	87
Lampiran 7. Perhitungan Total Koliform Limbah Cair Domestik	89
Lampiran 8. Perhitungan Total Koloni Limbah Cair Domestik.....	92
Lampiran 9. Perhitungan Efektivitas Penurunan Parameter.....	99
Lampiran 10. Hasil Uji Regresi Linier	102



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan/Lambang	Kepanjangan/Makna	Halaman Pertama Digunakan
MSL	<i>multi soil layering</i>	1
COD	<i>chemical oxygen demand</i>	1
BOD	<i>biological oxygen demand</i>	1
NH ₃	nitrat	1
IPAL	instalasi pengolahan air limbah	2
HUS	<i>hemolytic uremic syndrome</i>	2
TSS	<i>total suspended solid</i>	3
HLR	<i>hydraulic loading rate</i>	4
HRT	<i>hydraulic retention time</i>	4
pH	<i>potential of hydrogen</i>	5
BMAL	baku mutu air limbah	12
SMB	<i>soil mixture block</i>	17
SiO ₂	silika dioksida	17
AlO ₃	aluminat	18
FTIR	<i>fourier transform infra-red</i>	34
H ₄ SiO ₄	asam silikat	52

جامعة الرانري

AR - RANIRY

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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* (BOD₅), dan nitrat (NH₃) 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).

Di Indonesia belum ada peraturan yang ditetapkan untuk pengolahan limbah toilet *non* kakus, sehingga umumnya masyarakat membuang limbah *greywater* langsung ke saluran air terbuka. Hal ini dapat menimbulkan bau tidak sedap dan genangan air di saluran air perumahan penduduk (Hidayah dkk., 2018). Selain itu, masalah lain yang sering muncul adalah penurunan kualitas air tanah dan air permukaan, yang disebabkan oleh air banyaknya zat dan mikroorganisme dari air

limbah domestik yang dapat mencemari air tanah dan air permukaan jika tidak diolah dengan baik (Filliazati dkk., 2020).

Air limbah domestik yang dialirkan langsung ke badan air melalui saluran tanpa adanya pengolahan, akan berdampak pada kesehatan masyarakat dan pada akhirnya menurunkan daya saing bangsa dan negara (Sa'diyah dkk., 2018). Air limbah domestik pedesaan dicirikan oleh konsentrasi bahan organik, nutrisi (nitrogen dan fosfor), koliform dan patogen yang tinggi (Latracha dkk., 2018). Tingginya kandungan zat organik dalam air limbah domestik menyebabkan meningkatnya pertumbuhan bakteri dengan cepat karena adanya protein, karbohidrat, dan lemak yang menjadi sumber nutrisi bagi mikroba. Hal ini meningkatkan potensi kontaminasi bakteri pada air limbah domestik yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia (Hamdan dkk., 2022).

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.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana efektivitas metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam pengolahan limbah cair domestik di Kota Banda Aceh terhadap parameter total koliform dan parameter pendukung berupa total koloni, pH, COD dan TSS.
2. Bagaimana karakteristik *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) pada *bio ring* dalam pengolahan limbah cair domestik di Kota Banda Aceh.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis efektivitas metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam pengolahan limbah domestik di Kota Banda Aceh terhadap parameter total koliform dan parameter pendukung berupa total koloni, pH, COD dan TSS.
2. Untuk menganalisis karakteristik *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) pada *bio ring* dalam pengolahan limbah cair domestik di Kota Banda Aceh.

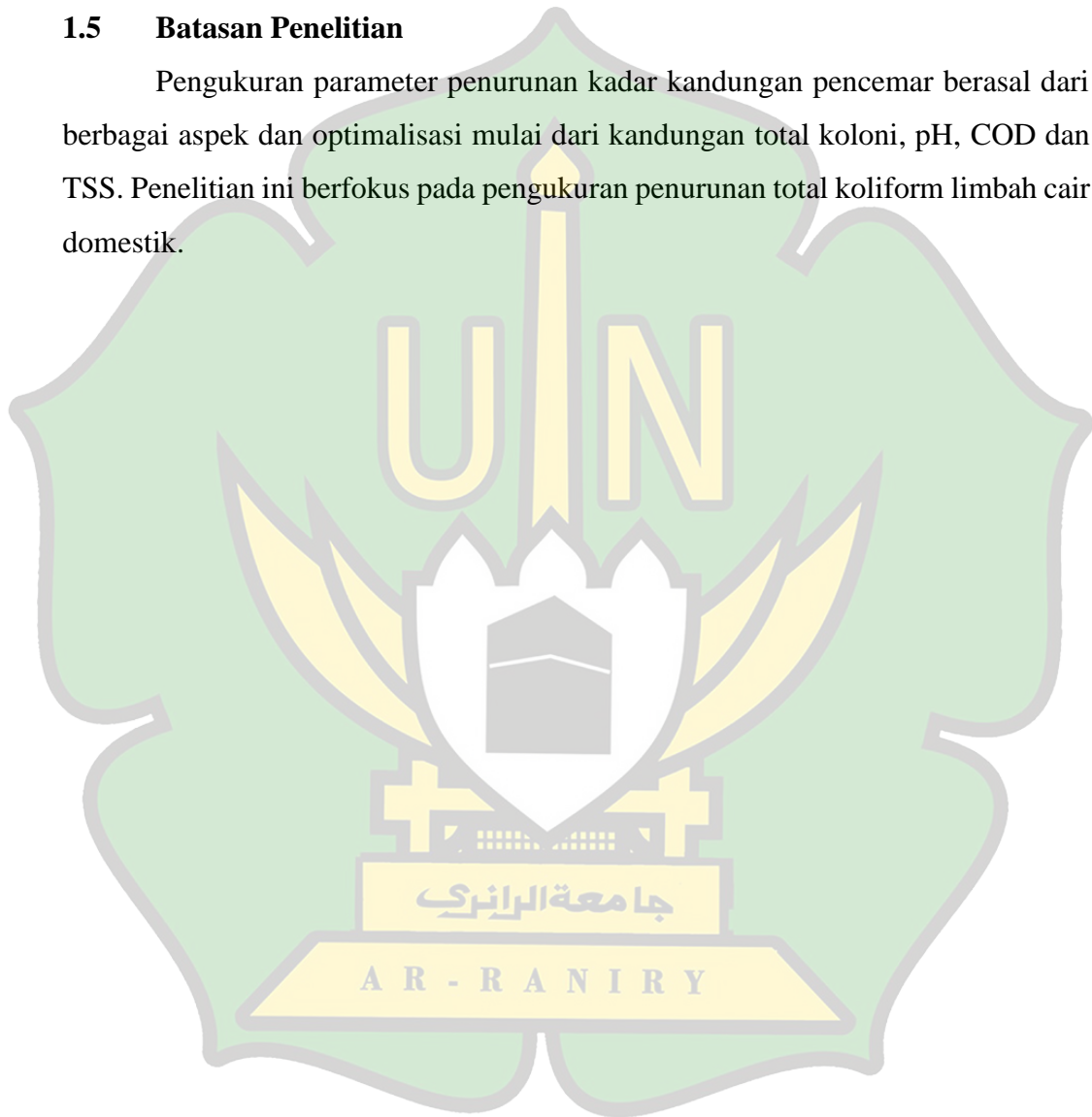
1.4 Manfaat Penelitian

Dengan mengetahui tujuan dari penelitian ini maka manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi dasar dalam melakukan penelitian sejenis terkait pengolahan limbah cair domestik.
2. Memberikan informasi terhadap pengembangan teknologi pengolahan limbah cair domestik dengan metoda MSL (*Multi Soil Layering*).

1.5 Batasan Penelitian

Pengukuran parameter penurunan kadar kandungan pencemar berasal dari berbagai aspek dan optimalisasi mulai dari kandungan total koloni, pH, COD dan TSS. Penelitian ini berfokus pada pengukuran penurunan total koliform limbah cair domestik.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Pengolahan Air Limbah

Pada pengolahan air limbah memiliki prinsip yaitu dilakukannya suatu perlakuan berupa perbaikan terhadap mutu air limbah agar saat dialirkan atau dibuang tidak mencemari lingkungan. Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan (2019), perbaikan mutu air limbah dilakukan dengan cara:

- a. memisahkan padatan dari limbah;
- b. mengurangi zat pencemar (polutan) dari air limbah sehingga mutu air hasil pengolahan air limbah tidak lebih buruk dari lingkungan sekitarnya;

Pengolahan air limbah juga memiliki prinsip yaitu dilakukannya proses perubahan air limbah, berawal dari air yang sifatnya tidak diperlukan atau tidak cocok sebagaimana fungsinya, menjadi limbah cair yang dapat dialirkan ke badan air tanpa adanya menimbulkan permasalahan lingkungan atau lebih baik dapat digunakan kembali (Ishak dkk., 2020).

Seiring meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan dan kepedulian dalam menjaga lingkungan dari pencemaran, pengolahan air limbah menjadi sangat penting (Bhernama dkk., 2023). Dalam proses pemulihan air, pengolahan air limbah juga menjadi sangat penting guna konsumsi tingkat lanjut, terutama untuk keperluan pertanian disaat ketersediaan sumber air terbatas, namun ketika permintaan air melebihi pasokan maka masalah akan menjadi buruk (Mahdi, 2018). Sepertiga populasi dunia berada di kawasan dengan wilayah air yang tidak teratur, hal ini akan menjadi permasalahan yang serius di masa yang akan datang. Peningkatan kesadaran akan pelayanan kesehatan, penduduk perkotaan dan masyarakat umum memiliki dampak yang sangat positif terhadap lingkungan. Saat ini, sebagian besar pabrik industri mengolah air limbah sebelum dibuang ke badan air untuk meminimalkan pencemaran yang akan terjadi (Mansouri dkk., 2018).

Limbah cair domestik adalah air limbah yang dihasilkan dari kegiatan non industri dan semua jenis kegiatan yang menghasilkan air limbah dari pemukiman, perkantoran, apartemen, asrama, dan rumah makan (*restaurant*) merupakan limbah

cair domestik (Hamdan, dkk., 2022). Aliran air limbah domestik yaitu aliran air buangan yang berasal dari sisa kegiatan rumah tangga yang umumnya meliputi: air limbah buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian/kendaraan, air siraman tanaman, dan sebagainya (Sulistia, dkk., 2019). Volume air limbah domestik bervariasi tergantung pada tipe rumah, umumnya dari 200 – 400 l/org/h. Pada volume buangan air limbah sebesar 400 l/org/h biasanya berasal dari perumahan dan perdagangan skala kecil, ditambah dengan aliran air tanah (*infiltration*). Pada air limbah domestik lebih mudah dalam pengelolaannya, karena umumnya hanya mengandung bahan organik (Alfian dan Andalas, 2021).

Limbah cair domestik terdiri atas dua bagian yaitu air limbah toilet (*black water*) dan air limbah non-toilet (*grey water*) (Kholif dkk., 2020). Limbah *black water* berasal dari tinja, urin dan buangan manusia, adapun limbah *grey water* berasal dari dapur, wastafel dan limbah lainnya (Raganata dkk., 2020). Berdasarkan jenisnya, air limbah yang paling banyak dihasilkan dari rumah tangga yaitu limbah *grey water* yang berkisar antara 50% hingga 80%, adapun pencemar pada *grey water* tergolong medium rendah dibandingkan *black water* tergolong medium dan *medium-high* (Sulistyanti dkk., 2018). Limbah domestik yang masuk ke badan air Indonesia diperkirakan mencapai 85%, hal ini membuktikan bahwa limbah domestik sebagai sumber pencemar terbesar, sehingga menyebabkan proses penjernihan alami yang tidak seimbang (Ariani dkk., 2017). Oleh karena itu air limbah domestik yang tidak diolah dapat menyebabkan masalah kerusakan lingkungan di sungai, danau dan badan air lingkungan lainnya (Wasita, 2019).

2.2 Karakteristik Air Limbah

Analisa terhadap karakteristik limbah cair dapat ditentukan dengan beberapa pembagian. Umumnya karakteristik limbah cair dapat dideteksi secara visual atau kasat mata, namun tetap dibutuhkan pengujian skala laboratorium menggunakan peralatan yang terstandar khusus agar diketahui jenis dan tingkat konsentrasi kandungan tertentu yang terdapat dalam limbah cair tersebut secara valid dan konkrit (Hamdan dkk., 2023). Berdasarkan sumbernya, limbah cair terbagi atas 3 (tiga) penggolongan karakteristik. Adapun pembagian golongannya

yaitu; karakteristik fisik, karakteristik kimia, dan karakteristik biologi (Indrayani dan Rahmah, 2018).

Pada karakteristik air limbah, sifat-sifat fisik yang paling penting adalah tinggi rendahnya total padatan yang berasal dari bahan-bahan terapung, terendapkan, bahan koloid, dan bahan dalam larutan (Fahyra dkk., 2023). Parameter lainnya seperti bau, suhu, densitas, warna, dan kekeruhan merupakan sifat-sifat penting yang wajib di uji (Jenie, 2019).

- 1) Padatan, dalam air limbah tergolong 2 (dua) jenis padatan yaitu padatan terlarut dan tersuspensi. Partikel koloid dan biasa merupakan bagian dari padatan tersuspensi, Adapun padatan terendap yaitu padatan yang memiliki diameter yang lebih besar dan lebih berat dari padatan pada umumnya, sehingga dalam beberapa waktu kemudian dalam keadaan tenang padatan tersebut akan mengendap. *Total Suspended Solids* (TSS) dapat diketahui beratnya setelah melalui penyaringan dengan kertas filter berukuran 0,042 mm, nilai konsentrasi TSS yang tinggi pada suatu permukaan air akan mengakibatkan menurunnya aktivitas fotosintesis pada perairan, selain itu penambahan panas yang mengakibatkan tingginya suhu di permukaan air akan mengakibatkan oksigen yang dilepaskan oleh tumbuhan air menjadi berkurang dan biota primer pada air seperti ikan, udang, dan lainnya akan mati (Hariyanto dan Budianto, 2018).
- 2) Kekeruhan, merupakan adanya kadar partikel koloidal yang terlarut dalam air limbah tersebut. Terdapatnya partikel yang menjadi keruhnya suatu air disebut dengan *Total Dissolved Solids* pada air (Wirman, dkk., 2019).
- 3) Bau, timbulnya bau disebabkan terdapatnya zat-zat organik dalam suatu limbah yang telah terurai dan mengeluarkan gas-gas seperti sulfide atau ammoniak. Adapun bau dapat timbul disebabkan oleh aktivitas bakteri dalam siklus hidupnya, oleh karena itu bau merupakan petunjuk dalam menentukan kualitas air secara tidak langsung (Sari dan Huljana, 2019).
- 4) Temperatur pada limbah cair yaitu menunjukkan derajat suhu yang terdapat di dalam limbah cair dan akan mempengaruhi kandungan oksigen di dalamnya. Tingginya kadar suhu diakibatkan intensitas cahaya matahari yang radiasinya

langsung mengenai lokasi pengambilan sampel atau adanya kerapatan vegetasi di permukaan badan air yang tercemar tersebut (Marlina dan Hafidh, 2017).

- 5) Warna pada limbah cair umumnya berwarna abu-abu hingga kehitaman, hal ini disebabkan oleh terjadinya pembusukan mikroorganisme yang berwarna. Adapun penyebab timbulnya warna yaitu karena tingginya padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid* atau TDS) di dalam air limbah tersebut (Emilia, 2019).

Adapun karakteristik kimia yaitu terdapatnya bahan organik, anorganik, dan gas pada limbah cair.

- 1) Kandungan organik pada limbah cair biasanya berasal dari hewan, tumbuhan, atau kegiatan manusia. Adapun bahan-bahan organik yang sering ditemukan pada limbah cair yaitu protein, karbohidrat, dan lemak. Bahan-bahan organik ini apabila terurai maka akan menjadi media pertumbuhan yang baik bagi mikroorganisme termasuk bakteri (Rahmat dan Mallongi, 2018).
- 2) Kandungan anorganik pada limbah cair terdiri dari butiran logam berat seperti cadmium, arsen, mangan, timbal, aluminium, kandungan garam, senyawa fosfat dan senyawa nitrogen, serta derajat keasaman (pH) yang akan meningkat apabila kandungan ion hidrogen dalam air meningkat. Bahan anorganik yang terdapat dalam air umumnya dalam keadaan mengendap, melayang, terapung, atau terlarut (Sugiharto, 2018).
- 3) Alkalinitas merupakan kemampuan air dalam menetralkan asam. Pada parameter ini akan menampilkan banyaknya ion karbonat dan bikarbonat dalam mengikat logam alkali tanah di perairan.
- 4) Gas dalam limbah cair yang terbentuk dari zat organik yang terurai pada kondisi anaerob dalam air limbah. Adapun gas yang terdapat dalam limbah cair yaitu karbon dikosida, nitrogen, metana, dan ammonia.

Pada karakteristik biologi adalah banyaknya terdapat kandungan organisme patogen seperti fungi, bakteri, alga, virus, dan cacing di dalam air limbah. Karakteristik ini sebagai acuan dalam pengukuran kualitas air terutama air yang dikonsumsi untuk kehidupan manusia baik sebagai air minum maupun air bersih. Adapun definisi dari pengolahan air limbah secara biologis yaitu dilibatkannya

aktivitas mikroorganisme dalam proses pengolahan air sehingga terjadinya perubahan antara senyawa-senyawa kimia yang bersifat racun menjadi senyawa baru yang aman bagi lingkungan (Filliazati dkk., 2020).

2.3 Parameter Air Limbah

Parameter air limbah merupakan parameter untuk memudahkan dalam pengklasifikasian suatu status atau kondisi terhadap sampel air limbah serta untuk mengetahui pengurangan konsentrasi pencemar pada tiap parameter sampel yang akan direncanakan. Pengujian terhadap parameter air limbah meliputi parameter BOD, COD, pH, TSS, Nitrat (NO_3^-) dan total koliform. Adapun uraian terhadap parameter sebagai berikut:

1. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Kebutuhan oksigen biologis atau BOD merupakan parameter kimia yang mengukur jumlah oksigen terlarut dalam air yang digunakan oleh bakteri dalam mengoksidasi atau melarutkan zat organik terlarut dan zat organik tersuspensi dalam air (Royani, dkk., 2021). Pada pengujian kualitas perairan, nilai BOD sangat penting guna mengetahui seberapa besar kandungan oksigen terlarut di dalam perairan tersebut. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan bahwa oksigen yang terlarut sangat sedikit (Daroini dan Arisandi, 2020). Untuk mengetahui jumlah bahan pencemaran yang terdapat dalam perairan akibat aktivitas buangan penduduk atau industri, dapat dibuktikan dengan pengujian BOD pada lokasi perairan yang dituju (Pour dkk., 2020).

2. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD merupakan sebuah parameter dengan satuan mg/L yang menampilkan jumlah oksigen (O_2) yang dibutuhkan dalam mengoksidasi atau melarutkan zat organik yang terdapat dalam air (Lumaela dkk., 2013). Kandungan COD yang melebihi standar baku mutu di dalam air menunjukkan bahwa adanya kadar patogen organik yang besar dan mengindikasikan kualitas air tersebut semakin lama akan menurun apabila tidak dilakukannya pengolahan (Ricki M., 2017).

3. pH

pH (*Potential of Hydrogen*) merupakan indikator yang menunjukkan derajat keasaman atau alkalinitas pada air yang dinyatakan dalam bentuk nilai. Nilai

pH merupakan visualisasi dari banyaknya konsentrasi ion *hydrogen* (H^+) di dalam air limbah. Kadar oksigen yang terdapat pada perairan berbanding lurus dengan nilai pH, nilai pH akan meningkat apabila kadar oksigen di suatu perairan juga tinggi (Rukmana, dkk., 2019). Nilai derajat keasaman (pH) yang aman untuk kehidupan biota akuatik dari skala 7 – 8,5, apabila nilai pH di dalam air lebih rendah (< 4) atau lebih dari 11, maka biota akuatik seperti tumbuhan air, ikan, dan sebagainya akan mati (Susana, 2019). Adapun penyebab turunnya nilai pH dalam air limbah yaitu adanya proses pembusukan atau dekomposisi bahan organik yang terjadi pada air limbah sehingga menyebabkan pelepasan karbon dan pH pada air limbah akan turun.

4. TSS (*Total Suspended Solid*)

Pengukuran kualitas air limbah terhadap padatan tersuspensi total disebut dengan TSS (Rashmi, 2017). Adanya padatan tersuspensi akan mengancam ekosistem air salah satunya ikan, yang menyebabkan terjadinya infeksi pada ikan akibat abrasi pada insangnya. Kemampuan ikan dalam mencari makanan juga akan terhalang akibat adanya padatan yang melayang atau mengapung dalam suspensi sehingga akan berdampak juga terhadap predator dari ikan tersebut. Keberadaan TSS juga akan mengganggu penetrasi cahaya matahari dalam melakukan proses fotosintesis terhadap tanaman air, hal ini akan mengurangi produksi oksigen di lingkungan air tersebut (Shah dkk., 2021). Diameter padatan yang tersuspensi dalam air berukuran $1\mu m$ sehingga mampu bertahan pada penyaringan dengan saringan *milipore* dengan diameter pori $0,45\mu m$.

5. Nitrat (NO_3^-)

Nitrat di perairan merupakan makro nutrisi yang mengontrol produktivitas primer di daerah eufotik. Kadar nitrat di perairan sangat dipengaruhi oleh asupan nitrat dari badan sungai. Sumber utama nitrat berasal dari buangan rumah tangga dan pertanian termasuk kotoran hewan dan manusia (Putri dkk., 2019).

6. Total Koliform

Total koliform merupakan parameter yang mengindikasikan adanya jenis bakteri koliform yang terdapat dalam pencemaran air limbah oleh bahan organik. Parameter ini sebagai indikator bakteri pertama yang menyatakan layak tidaknya air untuk digunakan pada aktivitas sehari-hari masyarakat (Sulistyorini, 2018). Bakteri patogen dapat muncul pada perairan yang memiliki total koliform yang banyak seperti *Giardia* dan *Cryptosporidium*, bakteri patogen ini dapat menyebabkan penyakit apabila terakumulasi pada tubuh manusia, seperti penyakit saluran pencernaan, disentri, tifus, polio, hepatitis, dan sebagainya (Wiryo, 2019).

2.4 Standar Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah merupakan standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah dalam menetapkan ukuran kadar atau batas partikel pencemar di dalam air limbah buangan yang dihasilkan oleh usaha atau kegiatan perindustrian, pemukiman, pertanian, dan sebagainya. Baku mutu air limbah (BMAL) sering disebut *effluent standard*, untuk menentukan BMAL ada dua tahapan yang harus dilakukan yaitu dilakukannya penentuan pada mutu air sasaran dan selanjutnya ditetapkannya beban pencemaran pada daya tampung terhadap sampel yang sedang diuji (Marganingrum dan Estiaty, 2017). Peraturan standar baku mutu air limbah domestik telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku mutu air limbah domestik

Parameter	Satuan	Tingkat
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total <i>Coliform</i>	Jumlah/100 ml	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sumber: (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016)

2.5 Pengolahan Air Limbah

Air limbah adalah air buangan dari hasil proses produksi usaha atau kegiatan pertanian, atau perindustrian pengolahan makanan perindustrian, yang tidak diperlukan dan tidak bersifat ekonomis, serta cenderung beracun yang akan berakhir di badan air. Pengolahan air limbah merupakan sebuah upaya untuk mengurangi zat pencemar di dalam air limbah itu sendiri sebelum dibuang ke lingkungan penerima limbah. Tujuan dilakukannya pengolahan air limbah diharapkan dapat mereduksi atau mendegradasi kandungan pencemar seperti senyawa organik, padatan tersuspensi, bakteri patogen yang tidak dapat terurai. Dengan dilakukannya pengolahan air limbah maka akan mengurangi potensi pencemaran badan air, menjaga estetika lingkungan, dan menutup kemungkinan sumber vektor penyakit (Budiman dkk., 2020). Menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada pasal 20 dinyatakan bahwa setiap orang diperbolehkan untuk membuang limbah pada lingkungan hidup apabila telah memenuhi syarat dalam baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah dan mendapatkan izin dari pihak berwenang.

Proses pengolahan limbah merupakan kombinasi antara pengolahan fisika, kimia, dan biologi. Proses yang dipilih berdasarkan karakteristik limbah cairnya (Fildzah, 2017). Berikut merupakan penjelasan mengenai pengolahan limbah cair:

- a. Pengolahan secara fisika dilakukan terhadap limbah cair yang kandungan pencemarnya dapat dipisahkan langsung dari air limbah tanpa ditambahkan senyawa kimia atau dekomposisi biologis. Pengolahan limbah cair secara fisika meliputi: *screening* (penyaringan), *comminution* yaitu perlakuan penghancuran terhadap butiran agar berukuran sama, *flow equalisation* (penyeragaman aliran) guna menghasilkan kecepatan aliran air limbah menjadi konstan dengan menggunakan bak equalisasi, *mixing* (pencampuran), penggumpalan untuk memudahkan partikel mengendap, *sedimentation* (pengendapan), *flotation* (pengapungan), dan *filtration* (penyaringan) (Setiyono, 2018).
- b. Pengolahan secara kimia yaitu proses pengolahan limbah cair yang kandungan pencemarnya dipisahkan dengan mekanisme reaksi kimia. Pada

proses ini akan dimasukkannya bahan kimia ke dalam proses pengolahan untuk mengikat zat pencemar. Adapun proses kimia meliputi; pengendapan secara kimia (menambahkan alum ferrous sulfat), perpindahan gas pada proses aerob dengan aerator, adsorbs, desinfeksi, deklorinasi. Dalam jurnal pengolahan *recovery* koagulan dari *sludge* Setiawan (2018) menyebutkan dalam proses pengolahan air limbah dengan metode koagulasi yaitu penambahan bahan kimia dari garam besi (FeCl_3) atau garam aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sebagai koagulan akan menghasilkan *sludge* dalam jumlah yang besar, sehingga akan berdampak pada penurunan kualitas lingkungan yang menerima *sludge* tersebut. Oleh karena itu digunakannya larutan HCl dalam *recovery* kandungan Fe dari *sludge*, hasil yang didapatkan yaitu semakin tinggi larutan HCl yang digunakan maka semakin tinggi konsentrasi Fe yang *recovery*. Pada hasil penelitian Mooheng dan Phenrat (2018), efisiensi HCl sebagai koagulan dalam *recovery* Fe dari *sludge* mencapai 95,5 %. Hal ini disebabkan konsentrasi HCl menyebabkan pH pada air limbah menjadi lebih asam sehingga pH pada air limbah tersebut menjadi rendah. pH yang rendah akan menyebabkan terjadinya restabilisasi partikel koloid yang menolak ion Fe menjauhi permukaan air limbah tersebut.

- c. Pengolahan limbah secara biologi yaitu pengolahan yang melakukan pemanfaatan mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediasi dalam mengubah senyawa kimia yang berbahaya menjadi tidak berbahaya ketika diterima oleh badan air. Pada pengolahan secara biologi umumnya pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif secara biologi aerob. Adanya mikroba di dalam proses pengolahan ini akan terjadinya reaksi metabolik yang akan mengonversi air limbah menjadi air yang aman sesuai baku mutu. Dalam jurnal pengolahan limbah cair pakan ternak menggunakan kombinasi proses biologi aerasi dan aerob, Sumada dkk (2021) menyebutkan pada proses pengolahan limbah cair dilakukannya penambahan oksigen ke dalam air limbah yang dimasukkan ke dalam tangki aerasi guna membantu pertumbuhan mikroba untuk menguraikan zat-zat

organik pada limbah cair menjadi zat organik yang lebih sederhana, dengan dilakukannya penambahan oksigen secara aerasi diketahui oksidasi pada proses biologi mikroba berjalan lebih optimal.

2.6 Metode *Multi Soil Layering* (MSL)

MSL merupakan salah satu metode pengolahan air limbah yang menggunakan tanah sebagai bahan utamanya, proses pengolahan air menggunakan metode ini melibatkan kombinasi antara tiga jenis pengolahan limbah cair, yaitu fisika, kimia, dan biologi. Proses pengolahan limbah cair dengan metode MSL ini diketahui sangat ekonomis dan tepat guna karena bahan-bahan yang digunakan sangat murah dan mudah ditemukan, serta bersifat aplikatif dan berkelanjutan dalam pemakaiannya tanpa perlu perawatan yang rumit (Ivontianti dkk., 2022). Pada sistem MSL air akan melewati beberapa tahapan, adapun mekanisme pertama yang akan dilewati oleh air yaitu filtrasi dan adsorpsi yang mana dalam proses ini terjadinya penghilangan bakteri, dan diikuti oleh sistem eliminasi lainnya seperti degradasi mikroba dan kematian alami bakteri (Ivontianti dkk., 2022)

Sistem MSL memiliki struktur lapisan dinding yang terdiri dari bata, serta memanfaatkan gaya gravitasi dalam pengolahan limbahnya. Dalam memaksimalkan penghilangan kontaminan, MSL menggunakan kemampuan tanah yang dibuat dalam *block* campuran tanah (Song dkk., 2020). Bata yang berasal dari campuran tanah diatur dalam kotak plastik berukuran $1,75 \times 2,5 \times 1,2 \text{ m}^3$ sebagai balok yang kemudian akan membentuk pola lapisan bata berselang-seling dengan zeolit sebagai media antar lapisannya (Luanmanee dkk., 2017). Air yang masuk ke dalam sistem MSL akan mengalami 2 zona pengolahan air limbah, yaitu aerob dan anaerob. Pada penelitian ini lapisan aerob terdiri dari perlit dan batu kerikil, dan lapisan anaerob ialah campuran tanah *Soil Mixture Block* (SMB).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Latracha dkk., 2018), metode *Multi Soil Layering* (MSL) yang digunakan dalam proses pengolahan air limbah domestik yaitu campuran tanah yang terdiri dari tanah pasir, arang, serbuk besi dan serbuk gergaji. Pada lapisan permeabel menggunakan zeolit berdiameter 3 – 5 mm. Tingkat persentase penghilangan parameter TSS, BOD, COD, dan indikator bakteri pada air limbah domestik diketahui secara berturut-turut mencapai 97%, 96%, dan 91% dan

untuk bakteri mencapai penghilangan log yang tinggi antara 2,21 dan 3,15 unit log. Pada proses pengolahan air, arang berfungsi sebagai zat karbon aktif dalam melakukan penyaringan air limbah yang akan menghasilkan air yang jernih, zat karbon aktif yang terkandung di dalam arang akan bekerja dengan cara penyerapan atau absorpsi. Jerami padi yang digunakan dalam komponen MSL juga mengandung senyawa karbon dan SiO_2 yang berfungsi sebagai material penjernihan air (Nuraini, 2017).

Pada penelitian sebelumnya, metode MSL dapat menurunkan nilai kekeruhan pada limbah cair pemukiman, setelah dilakukannya pengolahan terjadi penurunan nilai kekeruhan sebesar 163 – 255 NTU dari total keseluruhan 489 NTU. Hal ini disebabkan adanya material kerikil yang berfungsi sebagai penyaring partikel tersuspensi didalam limbah cair tersebut yang memiliki ukuran besar, dan material zeolit yang dapat menyerap kadar koloid sehingga berpengaruh terhadap penurunan kekeruhan di dalam limbah tersebut (Haribowo dkk., 2019). Variasi HLR juga memiliki pengaruh yang besar terhadap penurunan kadar pencemar, semakin rendah variasi HLR yang digunakan maka semakin besar tingkat efisiensi yang dihasilkan dalam penggunaan metode MSL ini. Adapun variasi HLR yang digunakan pada penelitian ini dalam pengolahan air gambut yaitu 100 ml/jam, 300 ml/jam, dan 500 ml/jam (Adinda dkk., 2017).

2.6.1 Hydraulic Loading Rate (HLR)

HLR merupakan besarnya laju alir pembebanan hidrolis pada sampel air limbah yang digunakan terhadap suatu bidang permukaan dalam suatu waktu tertentu. Sehingga dalam pengaplikasiannya, HLR digunakan untuk menentukan debit atau beban sampel air limbah domestik yang akan dialirkan ke reaktor MSL dalam satuan waktu tertentu, misalnya ml/menit (Kasman dkk., 2021). Sehingga dapat diartikan HLR ialah laju air limbah ke satuan luas permukaan untuk satuan waktu, yang mana semakin rendah HLR yang digunakan umumnya menghasilkan penghilangan polutan yang lebih maksimal (Abou-Elela dkk., 2019).

2.6.2 Hydraulic Retention Time (HRT)

HRT ialah lamanya waktu menahan air limbah dalam reaktor, yang diketahui sebagai waktu tinggal hidrolis. Air limbah yang diolah akan disimpan pada unit reaktor pengolahan dengan variasi waktu yang telah ditentukan untuk mencapai hasil parameter yang diinginkan. Selama proses pengolahan air limbah, efisiensi HRT terhadap air limbah dalam berbagai variasi dihitung untuk mengetahui capaian efektivitas suatu parameter (Arora dan Saraswat, 2021).

2.7 Lapisan Multi Soil Layering (MSL)

Pada lapisan MSL memiliki 2 (dua) lapisan, yaitu aerob dan anaerob. Lapisan aerob umumnya menggunakan kerikil, perlit, atau zeolit, untuk lapisan anaerob digunakan campuran antara tanah dan arang, atau campuran serbuk gergaji dan tanah yang ditambah bijih besi untuk peningkatan efektivitas pereduksian (Adinda dkk., 2017). Tanah yang digunakan pada sistem MSL berfungsi sebagai filtrasi pada air limbah yang masuk dan tempat habitat mikroorganisme yang tertahan oleh tanah, sehingga bahan organik seperti serbuk gergaji yang telah dicampur ke tanah menjadi sumber karbon pada mikroorganisme dalam proses dekomposisi air limbah (Zein, 2020).

2.8 Material pada Lapisan Multi Soil Layering (MSL)

Reaktor MSL terdiri dari bahan-bahan yang ramah lingkungan, diantaranya yaitu batu kerikil, perlit, tanah, arang, serbuk gergaji yang digabungkan dan kemudian di bentuk balok bata *Soil Mixture Block* (SMB). Jenis material yang digunakan dalam reaktor MSL bisa menggunakan apa saja sesuai yang tersedia di lingkungan sekitar, asalkan bahan material tersebut memiliki fungsi yang sama. Proses pengolahan air limbah yang terjadi pada MSL meliputi filtrasi, adsorpsi, absorpsi, biodegradasi, fiksasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi (Zein, 2020).

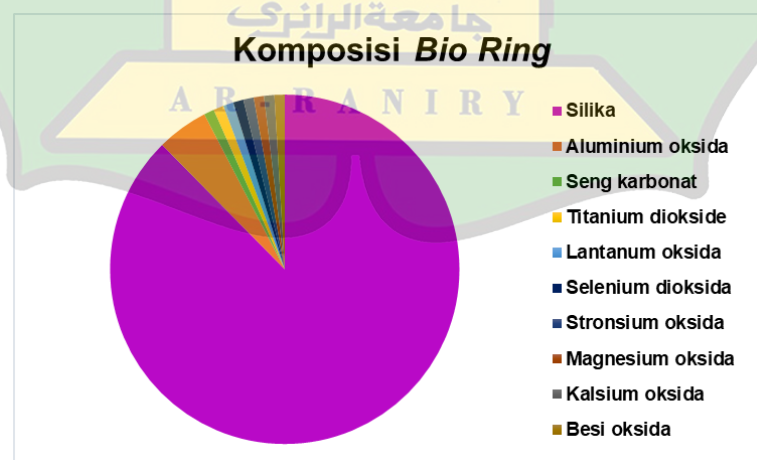
2.8.1 Bio Ring

Bio ring merupakan salah satu alat yang dapat digunakan sebagai filter biologis (rumah bakteri pengurai). *Bio ring* merupakan bio media yang terbuat dari campuran pasir silika khususnya silika dioksida (SiO_2), dengan persentase lebih dari 92% El-Halafawy dkk., (2023), sehingga mempunyai sifat seperti magnet yang

dapat menarik molekul air dengan cara menghisap air dengan cepat (Maksum, 2018). *Bio ring* memiliki luas permukaan spesifik yang luas mencapai $122,736 \text{ m}^2/\text{g}$ berdasarkan uji BET, dengan tingkat porositas hingga 90%, berat 2,15 gram, tinggi media adalah 16 mm dengan diameter 22 mm dan bentuk strukturnya adalah silinder (El-Halafawy dkk., 2023). Penggunaan *bio ring* sebagai media filter bertujuan sebagai media tumbuh bakteri nitrit yang diperlukan untuk menurunkan konsentrasi amonia pada air limbah domestik, sehingga kandungan amonia pada air limbah akan diubah menjadi nitrat dengan bantuan bakteri tersebut. Kandungan amonia pada air limbah yang berbahaya akan diubah menjadi nitrat yang aman bagi lingkungan perairan (Lukmantoro dkk., 2020).



Gambar 2.1 Media *bio ring*
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2023



Gambar 2.2 Komposisi media *bio ring* (El-Halafawy dkk., 2023)

2.8.2 Kerikil

Kerikil merupakan batu butiran yang memiliki ukuran lebih kecil dari kerakal dan lebih besar dari pasir. Proses pembentukan batu kerikil berasal dari letusan gunung berupa lava magma yang telah mendingin dan biasanya terkandung dalam abu vulkanik. Batu kerikil diklasifikasikan sebagai batuan pasir dengan kandungan silika (SiO_2) maupun aluminat (AlO_3) yang tinggi. Dalam proses filtrasi air, batu kerikil berfungsi sebagai celah agar air dapat mengalir pada lubang bawah (Fajri dkk., 2017).

Erni (2018) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa penggunaan kerikil dalam pengolahan air limbah mie basah dapat menurunkan parameter BOD_5 sebesar 96,35% dan COD mencapai 98,96%. Sebagai uji kelayakan air limbah dapat di buang ke perairan lingkungan, digunakan air limbah tersebut untuk kehidupan ikan nila dan persentase kehidupan ikan nila mencapai 84,33%.

2.8.3 Soil Mixture Block (SMB)

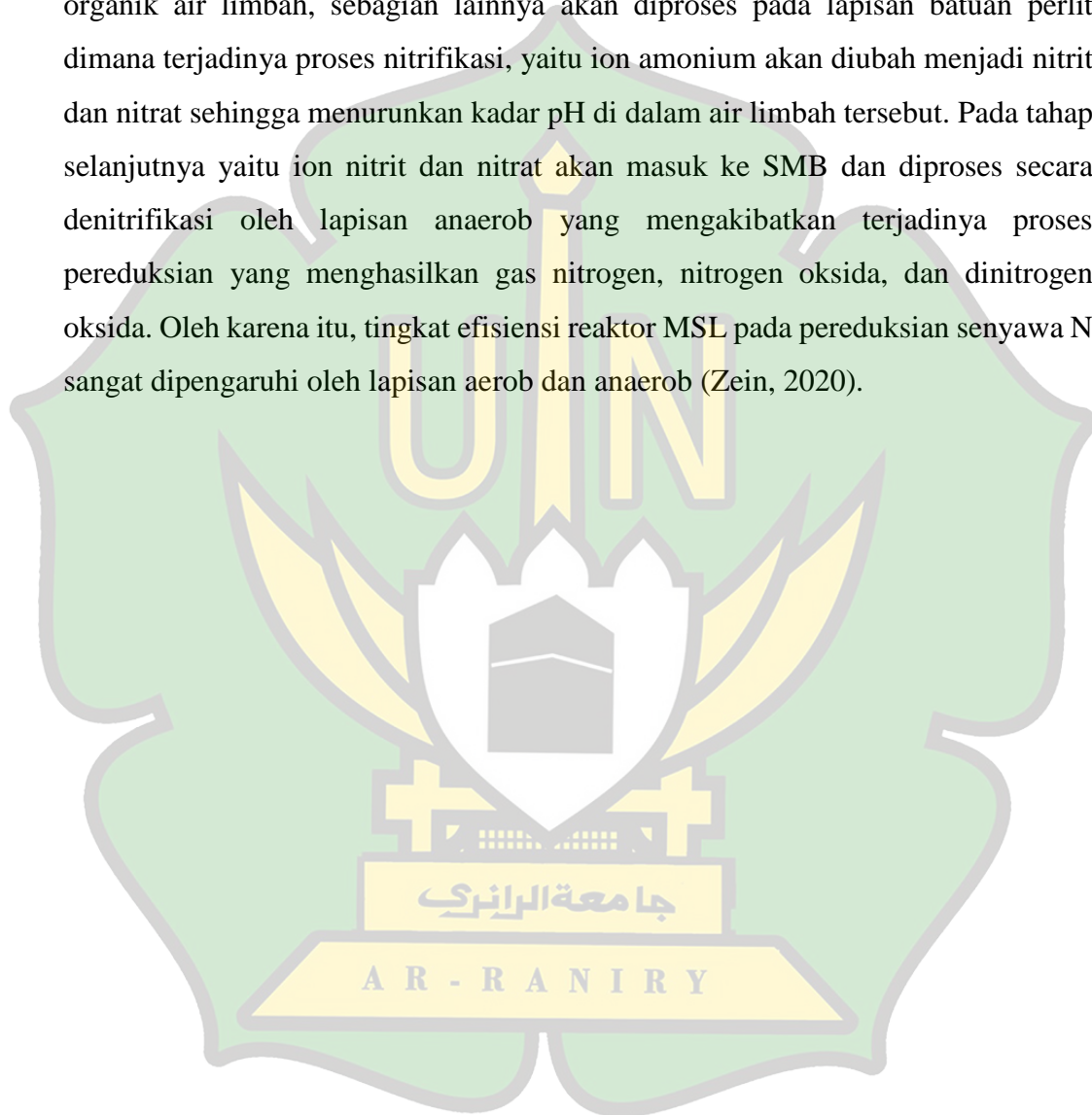
Soil Mixture Block (SMB) merupakan campuran dari serbuk kayu, tanah andosol/vulkanik dan arang, yang kemudian dicetak dan disusun dengan pola batu bata. Pada celah SMB yang kosong akan diisi oleh lapisan permeabel yaitu perlit dan kerikil. Komponen SMB sangat berperan penting dalam pengolahan air limbah, seperti tanah vulkanik memiliki kandungan mineral yang tinggi yaitu Al dan Fe aktif sehingga dapat memurnikan air limbah dengan proses pengikatan sumber pencemar menggunakan unsur-unsur tersebut (Herman dkk., 2017).

2.9 Mekanisme Kerja MSL

Metode MSL memiliki dua zona pengolahan yaitu aerob yang menggunakan material *bio ring* sebagai lapisan pengisi celah ruang blok campuran tanah, dan zona anaerob yang terdiri dari campuran tanah (Zein, 2020). Pada mekanisme kerja MSL, material yang dimasukkan akan mengadsorpsi bahan organik yang terkandung dalam air limbah tersebut secara fisika dan kimia oleh campuran tanah (SMB) dan lapisan permukaan *bio ring*, selanjutnya terjadinya proses pendekomposisian oleh mikroorganisme yang berasal dari campuran tanah dan serbuk kayu serta terjadinya penyerapan zat pencemar seiring terbukanya pori-

pori dari media *bio ring*. Pada metode MSL semua material berperan penting dalam pereduksian zat organik, seperti arang yang berperan penting sebagai absorben dalam penghilangan berbagai macam zat organik.

Pada material tanah andosol akan mengadsorpsi zat nitrogen pada senyawa organik air limbah, sebagian lainnya akan diproses pada lapisan batuan perlit dimana terjadinya proses nitrifikasi, yaitu ion amonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat sehingga menurunkan kadar pH di dalam air limbah tersebut. Pada tahap selanjutnya yaitu ion nitrit dan nitrat akan masuk ke SMB dan diproses secara denitrifikasi oleh lapisan anaerob yang mengakibatkan terjadinya proses pereduksian yang menghasilkan gas nitrogen, nitrogen oksida, dan dinitrogen oksida. Oleh karena itu, tingkat efisiensi reaktor MSL pada pereduksian senyawa N sangat dipengaruhi oleh lapisan aerob dan anaerob (Zein, 2020).



Tabel 2.2 Penelitian terdahulu tentang penggunaan metode MSL

No	Peneliti	Jenis Media	Jenis Sampel	HLR	Parameter yang Diuji	Konsentrasi Zat Pencemar Awal (mg/L)	Hasil akhir/Efektivitas Penurunan (%)
1	Herman dkk., 2017	Tanah vulkanik, serbuk gergaji, besi, arang, dan perlit.	Air irigasi terpolusi	250 L/m ² /hari 500 L/m ² /hari 1000 L/m ² /hari	BOD COD pH NH ₄ ⁺ NO ₂ ⁻ NO ₃ ⁺	348,25 – 497,35 817,0 – 1484,32 6,09 – 6,49 < 0.2 – 2.32 < 0,01 < 0,2	98,84 – 99,73 97,21 – 99,59 7,95 – 8,01 <0.2 ppm - -
2	Sbahi dkk., 2020	kerikil, serbuk arang, serbuk gergaji, serbuk besi, dan tanah	Air limbah domestik	250 L/m ² /hari 500 L/m ² /hari 1000 L/m ² /hari	Total Koliform pH TSS COD	5,83 <i>log units</i> 8,88 380,20 mg/L 619,30 mg/L	3,80 <i>log units</i> 7,19 206,40 mg/L 430,20 mg/L
3	Elystia dkk., 2017	Kerikil, tanah, arang, serbuk gergaji	Air limbah dapur dan laundry hotel	500 L/m ² /hari 750 L/m ² /hari 1000 L/m ² /hari	BOD COD	69,698 137,280	89 – 90% 55 – 90%
4	Komala, P., dkk, 2012	Tanah andesol, arang halus, serbuk gergaji, dan perlite	Limbah cair pabrik karet	1000 L/m ² /hari	BOD COD TSS Total amoniak Total nitrogen pH	150 300 150 13 36 5,6	96,27 – 99,95% 90,15 – 99,66% 76,43 – 99,2% 70 – 98,71% 27,53 – 70,12% 1)
5	Aba dkk., 2021	Pozzolan, tanah lokal, logam besi, arang, dan serbuk gergaji	Permukaan air pedesaan	200 L/m ² /hari	Cyanotoxin (MC-LR)	0,8 – 10 µg/L	99%

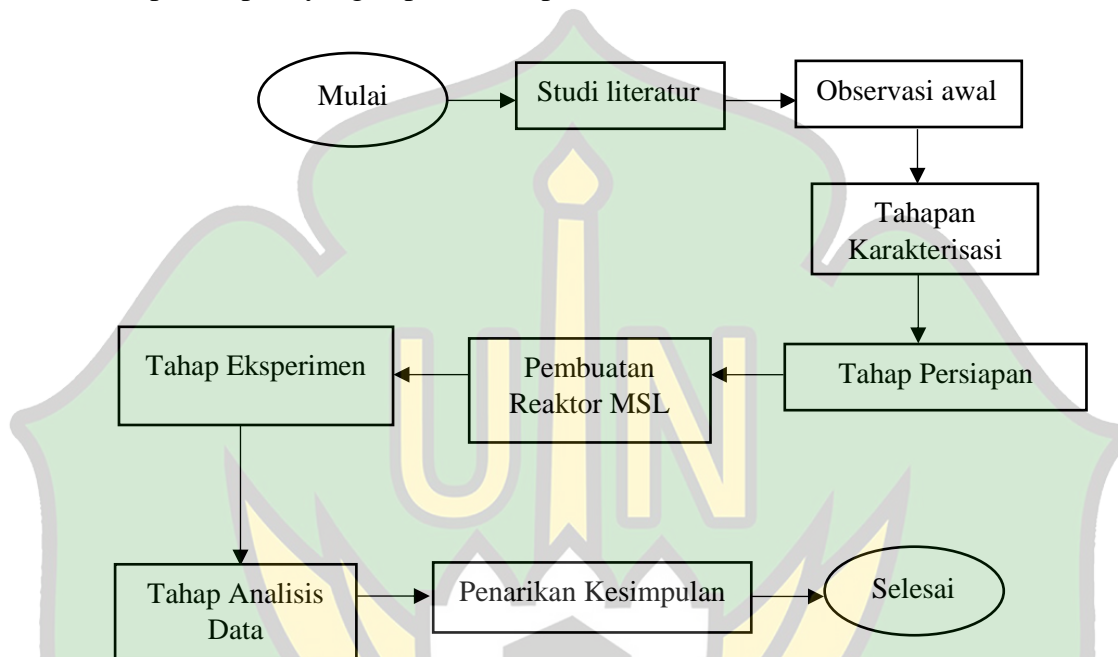
6	Salmariza dkk, 2011	Tanah andosol, arang, dan serbuk gergaji	Limbah industri <i>edible oil</i>	250 L/m ² /hari 500 L/m ² /hari 1000 L/m ² /hari 1500 L/m ² /hari	BOD COD TSS Minyak dan Lemak	146,87 242 – 751 84 – 580 58 – 87	86 – 99% 71 – 96% 77 – 88% 60 – 80%
7	Haribowo dkk., 2019	Kerikil, zeolit, campuran kerikil dan zeolit, tanah andosol, arang tempurung kelapa, arang jerami, serbuk Tgergaji	Limbah domestik	500 L/m ² /hari	pH TSS TDS DO Kekeruhan DHL	6,70 126,67 - 138,3 541,33 – 602 0,87 – 1,08 489 – 502 NTU 0,85 – 0,94 mS/cm	3,46 – 9,13% 49,74 – 71,05% 14,01 – 34,22% 76,61 – 83,74% 69,72 – 77,49% 13,44 – 31,77%
8	Zein dkk., 2020	Tanah vulkanik, arang, serbuk besi, jerami padi	Limbah cair tahu	15 mL/menit	pH TSS BOD COD Nitrat Nitrit Fosfat Amonia	4.34 1949 520 10200 170,663 0,358 5,793 65.177	6,02 – 7,2 80,04 – 95,13% 86,15 – 93,85% 80,39 – 96,2% 91,6 – 93,6% 72,59 – 73,49% 63,1 – 98,12% 59,74 – 65,85%
9	Zein dkk., 2016	Tanah vulkanik, arang aktif, serbuk besi, dan hagasse	Pengolahan air gambut	5 ml/menit 10 ml/menit 20 ml/menit 40 ml/menit	Warna COD BOD Organik pH	350 168,0 50,40 265,44 4,26	92,86 – 93,57% 89,52% - 90,48% 92,06 – 93,65% 89,05 – 91,07% 6,91 – 6,93
10	Elystia dkk., 2012	Kerikil ukuran 3 – 5 mm, campuran tanah dengan arang	Limbah cair hotel	500 L/m ² /hari 750 L/m ² /hari 1000 L/m ² /hari	COD	137,280 – 201,240	89 – 90%
11	Irmanto, 2009.	Tanah andosol dan arang aktif tempurung kelapa	Air limbah industri tahu	160 L/m ² /hari 320 L/m ² /hari 480 L/m ² /hari 800 L/m ² /hari	BOD COD TSS	3595,05 7860 820	94,21 – 98,89% 90,32 – 95,53% 71,55 – 78,62%

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Adapun tahapan umum yang dilakukan pada penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan, yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

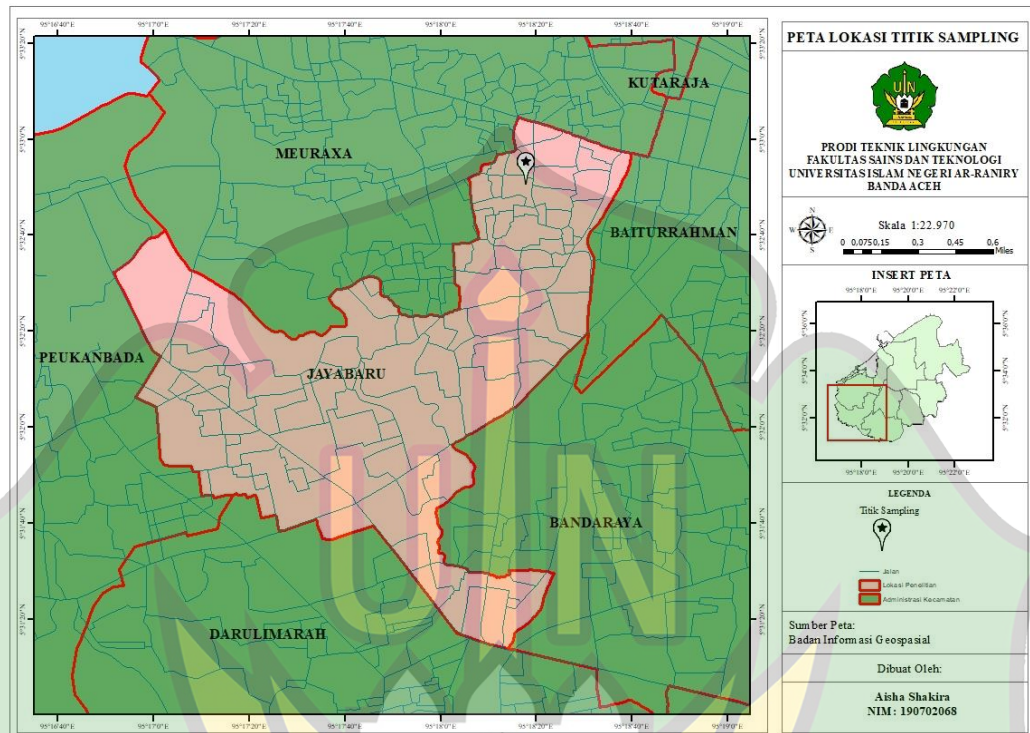
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel limbah cair domestik berada di rumah tangga yang terletak di Jl. Bak Karieng, Punge Blang Cut, Kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada data situs Kecamatan Jaya Baru (2023) yang menunjukkan kondisi fisik Gampong Punge Blang Cut, terutama dalam hal pemanfaatan lahan. Wilayah ini memiliki luas 85,50 Ha, yang terbagi menjadi dua bagian: 51,30 Ha untuk pemukiman dan 34,20 Ha untuk pekarangan, jalan, sungai, dan sebagainya.

Gampong Punge Blang Cut, Kecamatan Jaya Baru adalah salah satu gampong di Kota Banda Aceh dengan jumlah penduduk sebesar 5.963 jiwa dan 1.607 kepala keluarga (KK) (BPS Kota Banda Aceh, 2022). Hasil uji pendahuluan

menunjukkan bahwa kadar total koliform pada limbah cair domestik mencapai 35.000 MPN/100mL (Arsa, 2022). Adapun peta lokasi pengambilan sampel dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta lokasi pengambilan sampel

Saluran yang ada di perumahan tidak bercampur antara *grey water* dan *black water* sehingga besarnya kemungkinan terkontaminasinya *grey water* oleh *black water* dapat diminimalisir. Lokasi pengujian terhadap parameter total koliform, total koloni, pH, COD dan TSS pada limbah cair domestik dilakukan di Laboratorium Multifungsi Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

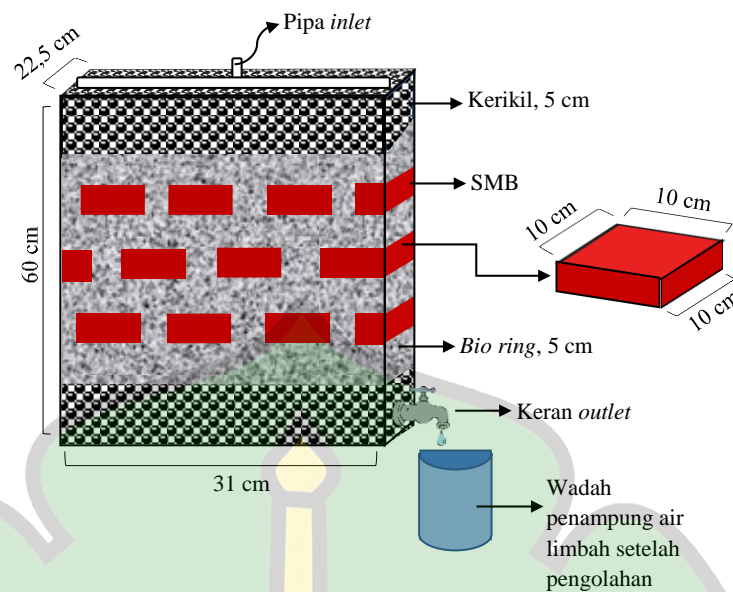
AR - RANIRY

3.3 Eksperimen

3.3.1 Desain Reaktor

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). Adapun batuan kerikil yang digunakan berukuran seragam guna mencegah terjadinya penyumbatan yang mungkin akan terjadi akibat perbedaan ukuran yang terlalu signifikan. Desain reaktor MSL dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain reaktor Multi Soil Layering (MSL) (Ren dkk., 2022)

3.3.2 Metode Sampling Air Limbah

Metode pengambilan sampel dilakukan dengan pengambilan sesaat atau *grab sampling* sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59:2008, dengan langkah-langkah berikut:

1. Sampel limbah cair diambil langsung dari rumah pada waktu pagi hari, antara pukul 07:30 sampai 10:00 WIB. Pemilihan waktu tersebut didasari bahwa intensitas aktivitas mulai dari mencuci, memasak dan mandi meningkat pada interval waktu tersebut.
2. Sampel diambil dengan gayung bertangkai panjang dan kemudian dimasukkan ke dalam jerigen dengan ukuran 20 liter sebanyak 2 jerigen, yang kategorinya disesuaikan dengan SNI 6989.59:2008 yang dijelaskan dengan rinci pada Lampiran 2.

3.3.3 Prosedur Eksperimen MSL

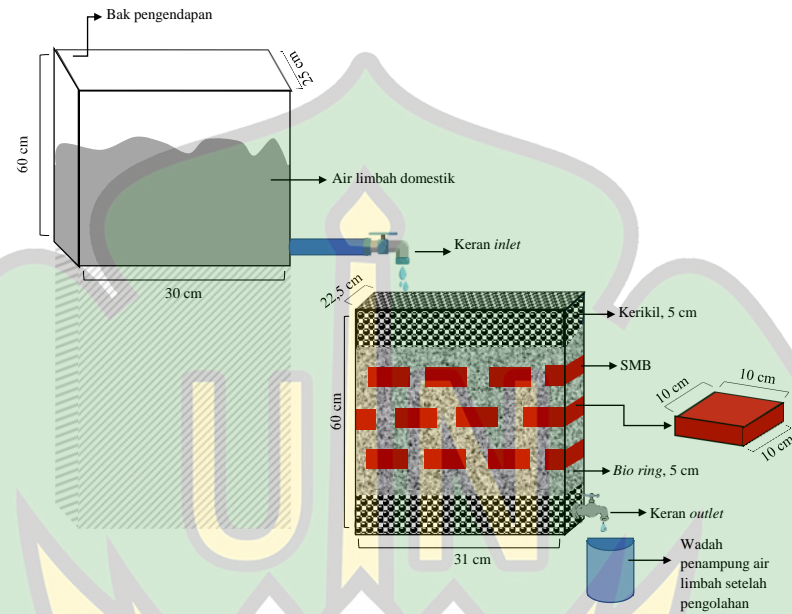
Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental untuk membandingkan efektivitas MSL dengan variasi HLR dan HRT dalam penurunan total koliform, total koloni, COD dan TSS serta penetralan pH pada limbah cair domestik. Variasi yang diberikan saat eksperimen bertujuan untuk mengetahui kondisi optimal MSL

dalam menyisihkan kadar pencemar air limbah domestik. Dalam penelitian ini diawali dengan tahap pembuatan SMB berukuran 10 cm × 10 cm × 10 cm yang tersusun dari tanah andosol, serbuk arang, serbuk besi dan serbuk gergaji dengan perbandingan masing-masing 70%, 10%, 10% dan 10%. Selanjutnya SMB dioven selama 24 jam dengan suhu 105°C, agar campuran lapisan SMB menjadi padat saat proses penyusunan material di reaktor MSL.

Tahap selanjutnya yaitu menyusun media ke dalam reaktor kaca dengan variasi media yaitu kerikil setinggi 5 cm, *bio ring* setinggi 5 cm dan SMB setinggi 10 cm. Lapisan media disusun secara berulang, pada media SMB dilapisi dengan kain strimin untuk mencegah bercampurnya tanah secara langsung dengan lapisan *bio ring* dan kerikil ketika dimasukkan air limbah domestik. Selanjutnya yaitu memasukkan air limbah domestik sebanyak 25 liter ke dalam reaktor kaca pertama dan didiamkan selama 24 jam. Tahap tersebut bertujuan untuk sedimentasi air limbah domestik sebelum dialirkan ke dalam reaktor MSL. Setelah air limbah didiamkan selama 24 jam, keran pada reaktor dibuka berdasarkan tiga variasi yaitu bukaan keran penuh, setengah dan kecil. Hal ini yang akan menentukan variasi waktu detensi air limbah pada HLR saat proses eksperimen dalam sistem MSL. Air limbah domestik dialirkan secara kontinyu, yaitu kondisi keran *outlet* pada reaktor MSL tidak tertutup. Sehingga ketika air limbah domestik dialirkan dan melewati keran *outlet* MSL maka akan langsung ditampung ke wadah penampung air limbah. Selanjutnya sampel disimpan dalam botol steril untuk dianalisa kadar parameter pencemar. Gambar 3.3 merupakan desain reaktor MSL dan Gambar 3.4 skema pengolahan air limbah domestik dengan variasi HLR terhadap sistem MSL pada penelitian ini.

Pada metode eksperimen pengolahan air limbah domestik berdasarkan variasi HRT, dilakukan hal yang sama mulai dari tahap preparasi media filtrasi sampai tahap perlakuan. Namun perlakuan air limbah domestik terhadap variasi HRT menggunakan metode *batch*, yaitu waktu tinggal air limbah di dalam reaktor MSL divariasikan antara lain 4, 6, 8, 10 dan 12 jam. Air limbah domestik yang dialirkan ke dalam reaktor yaitu sebanyak 5 liter, lalu dilakukan perlakuan untuk metode *batch* selama 12 jam tanpa membuka keran dan dilakukan pengambilan

sampel sebanyak 500 mL pada jam ke 4, 6, 8, 10 dan 12. Sampel berupa filtrat dianalisa untuk mengetahui perubahan kadar total koliform, total koloni, pH, COD dan TSS.



Gambar 3.4 Skema pengolahan air limbah domestik dengan variasi HLR (Latracha dkk., 2018)

جامعة الرانيري

AR - RANIRY



Gambar 3.5 Pengaplikasian skema pengolahan air limbah domestik dengan variasi HLR

3.3.4 Penentuan Variasi *Hydraulic Loading Rate*

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 dalam menghitung HLR (Ningrum dkk., 2018).

$$HLR = \frac{\text{Volume air limbah (liter) / Waktu detensi (jam)}}{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}} \quad (3.1)$$

3.4 Instrumen, Alat, dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan menggunakan pendekatan *true experiment*. Penelitian kuantitatif ialah penelitian yang didasarkan oleh kaidah ilmiah yang bertujuan untuk mengetahui kadar total koliform, total koloni, pH, COD dan TSS yang terdapat dalam limbah cair domestik sebelum dan sesudah dilakukan *treatment* dengan menggunakan reaktor MSL. Rancangan penelitian dengan pendekatan *true experiment* merupakan desain penelitian yang pengerjaannya menggunakan skala laboratorium dengan kemungkinan sebab-

akibat antara kelompok yang diberi perlakuan (kelompok eksperimen) dengan kelompok kontrol (tidak diberi perlakuan) lalu kemudian membandingkan antara keduanya (Sani dan Fathnur, 2018).

Bahan dasar reaktor MSL menggunakan bahan kaca dengan susunan kerikil, *bio ring*, kain strimin, blok campuran tanah, dan kemudian ditutup dengan lapisan *bio ring* serta kerikil secara berurutan. Pada dasar reaktor akan diberikan keran sebagai *outlet* dan pada bagian atas reaktor juga diberikan pipa dan keran sebagai *inlet*. Adapun berbagai alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya; reaktor MSL, label nama, rak dan tabung reaksi, gelas ukur, pipet ukur, *beaker glass*, pipet tetes, oven, kertas saring, *magnetic stirrer*, masker, kamera, *stopwatch*, sarung tangan, dan *cool box*. Sementara itu, bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel air limbah domestik, aquadest, Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), Asam sulfat (H_2SO_4), kertas saring Whatman No.42, media *Lactose Broth* (LB), *Briliant Green Lactose Broth* (BGLB) dan media *Plate Count Agar* (PCA).

3.5 Prosedur Pengujian Sampel

Parameter air limbah yang di uji pada penelitian ini ialah total koliform, total koloni, pH, COD dan TSS. Seluruh pengujian terhadap parameter dilakukan berdasarkan SNI yang berlaku dan terbaru.

1. Total Koliform

Pengujian total koliform merujuk SNI-01-2332.1-2006 metode pengujian *Most Probable Number* (MPN) *coliform*. Pada metode ini terdiri dari uji *presumtif* (penduga) dan uji konfirmasi (peneguhan) dengan menggunakan media cair di dalam tabung reaksi dan dilakukan berdasarkan jumlah tabung positif. Pengamatan tabung positif dapat dilihat dengan timbulnya gas di dalam tabung durham.

a. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *beaker glass*, botol sampel steril, autoklaf, *hot plate magnetic stirrer*, tabung durham, tabung reaksi, vortex dan mikropipet.

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel limbah cair domestik, media *Lactose Broth* (LB), *Briliant Green Lactose Broth* (BGLB), dan *aquadest* steril.

c. Prosedur Kerja

a) Uji Pendahuluan atau Pendugaan (*Persumptive Test*) *Coliform*

Sampel limbah cair sebanyak 1 ml dimasukkan dalam larutan pengencer trisalt dengan pengenceran 10^{-1} , kemudian dikocok dengan vortex sampai homogen. Kemudian dimasukkan 1 ml ke tabung 10^{-2} dan seterusnya, sampai 10^{-3} . Selanjutnya diambil 1 ml dari setiap pengenceran ke tabung berisi media LB dan diinkubasi pada suhu 35°C , selama 24 – 48 jam. Tabung yang positif menampakkan gelembung pada tabung durham.

b) Uji Konfirmasi atau Penegasan (*Confirmative Test*) *Coliform*

Memindahkan biakan tabung LB yang positif dengan jarum inokulasi ke tabung-tabung BGLB 2% yang berisi tabung durham. Diinkubasi pada suhu 35°C , selama 24 – 48 jam. Tabung yang positif menampakkan gelembung pada tabung durham. Kemudian dikonfirmasi dengan pencocokan jumlah tabung positif dengan nilai pada tabel MPN untuk mengetahui jumlah total koliform pada sampel limbah cair domestik yang diamati. Jumlah tabung positif selanjutnya dikalkulasikan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Nilai MPN} = \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \quad (3.2)$$

2. Total Koloni

a) Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah sampel limbah cair domestik, *aquadest* dan media *Plate Count Agar* (PCA). Alat yang digunakan ialah mikropipet, inkubator, cawan petri, tabung reaksi, autoklaf, gelas ukur, erlenmeyer, *hot plate stirrer*, timbangan digital, oven, botol sampel dan *colony counter*.

b) Persiapan Media *Plate Count Agar* (PCA)

Ditimbang media *Plate Count Agar* (PCA) sebanyak 12,1 gram, kemudian dilarutkan dengan aquades sampai 500 mL dalam erlenmeyer. Selanjutnya

dihomogenkan dengan menggunakan *hot plate stirrer*, disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit. Kemudian dituang 10 – 20 mL ke dalam cawan petri (Lizayana dkk., 2017).

c) Prosedur Pengujian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Lizayana dkk., 2017) menyatakan bahwa perhitungan koloni bakteri dilakukan dengan mengamati semua koloni yang tumbuh pada permukaan media agar yang digunakan pada penelitian. Sebelum menghitung koloni bakteri, disiapkan media berupa *Plate Count Agar* (PCA) sebagai media perhitungan bakteri. Metode yang digunakan adalah *Total Colony Counter* (TPC) dengan cara melakukan pengenceran 1:10 sampai dengan kelipatan 10^{-5} atau 10^{-6} pada tabung reaksi. Penghitungan total koloni berdasarkan uji TPC menggunakan media PCA, diketahui media PCA baik untuk pertumbuhan total mikroba karena mengandung komposisi *casein enzymic hydrolysate* yang menyediakan asam amino dan substansi nitrogen kompleks serta ekstrak *yeast* yang mensuplai vitamin B kompleks (Wati, 2018). Kemudian diambil 1 mL dari setiap tabung reaksi yang telah dihomogenkan lalu diinokulasi dalam cawan petri steril menggunakan metode sebar yang berisi PCA yang telah disediakan sebelumnya. Cawan petri diinkubasi dengan posisi terbalik pada suhu 30°C selama 18 – 24 jam. Kemudian diamati dan dihitung koloni bakteri yang tumbuh di lempeng PCA dengan menggunakan alat *Colony Counter*.

d) Perhitungan *Colony*

Untuk perhitungan koloni bakteri merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh (Lizayana dkk., 2017) dengan menggunakan *colony counter*. Jumlah bakteri yang tumbuh selanjutnya dikalkulasikan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah Pengenceran}} \quad (3.3)$$

3. *Potential of Hydrogen* (pH)

- a. Alat pH meter dikalibrasi dengan menggunakan larutan penyangga.

- b. Elektroda dikeringkan dengan tisu dan kemudian dibilas dengan menggunakan air suling.
- c. Sampel limbah dimasukkan ke dalam *beaker glass* ukuran 50 mL.
- d. Elektroda dibilas dengan sampel limbah.
- e. Elektroda dicelupkan ke dalam sampel limbah.
- f. Alat pH meter ditunggu sampai pembacaannya stabil.
- g. Hasil pembacaan angka dicatat pada tampilan pH meter.

4. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengujian COD merujuk SNI 6989.2-2019 Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (COD).

a. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah sampel limbah cair domestik, larutan *Kalium dikromat* ($K_2Cr_2O_7$) dan larutan *Asam sulfat* (H_2SO_4). Alat yang digunakan ialah *beaker glass*, tabung kultur, pipet tetes, COD reaktor dan COD meter.

b. Prosedur proses pengujian

- 1) Sampel dimasukkan ke dalam tabung kultur COD sebanyak 2,5 mL, selanjutnya ditambahkan 1,5 mL larutan $K_2Cr_2O_7$ dan 3,5 mL larutan H_2SO_4 . Kemudian tabung kultur ditutup.
- 2) COD reaktor disiapkan dengan menekan tombol *start* dan ditunggu suhu naik sampai $150^\circ C$.
- 3) Tabung COD dimasukkan ke dalam COD reaktor dengan temperatur $150^\circ C$ selama 2 jam.
- 4) Selanjutnya tabung COD didiamkan pada suhu ruang, kemudian pengukuran sampel dilakukan menggunakan COD meter (SNI 6989.2-2019).

5. *Total Suspended Solid* (TSS)

Pengujian TSS dilakukan berdasarkan SNI 06-6989.3:2004 Air dan air limbah pada Bagian 3 yaitu Cara uji padatan tersuspensi total (TSS). Dibawah ini merupakan prosedur pengujiannya:

- a. Kertas saring dengan diameter 47 mm diambil dan ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik.

- b. Kertas saring dimasukkan ke dalam alat vakum dan kertas saring dibilas dengan *aquadest* sebanyak 20 mL selama 2 menit.
- c. Kertas saring dipindahkan ke dalam oven untuk dipanaskan dengan suhu 103 – 105°C selama 1 jam.
- d. Kertas saring didinginkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- e. Kertas saring ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik dan nilainya dicatat.
- f. Kertas saring dicuci dengan 3 × 10 mL air suling, biarkan kering sempurna dan dilanjutkan penyaringan dengan vakum selama 3 menit agar diperoleh penyaringan yang sempurna.
- g. Kertas saring dibilas dengan *aquadest*, kemudian sampel sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam vakum.
- h. Kertas saring dipindahkan dari peralatan penyaring dan dipindahkan ke wadah.
- i. Kertas saring dikeringkan dalam oven pada suhu 103 – 105°C selama 1 jam.
- j. Kertas saring didinginkan dalam desikator dan ditimbang, hingga diperoleh berat konstan.
- k. Kemudian kadar TSS dihitung dalam mg/L, dengan perhitungan:

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, mL}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

A = Berat kertas saring + residu kering (mg)

B = Berat kertas saring (mg)

3.6 Prosedur Karakterisasi FTIR *Bio Ring*

Tahapan persiapan sampel karakterisasi FTIR pada media *bio ring* sebelum dan sesudah pengolahan yaitu permukaan *bio ring* dikikis dan kemudian digerus hingga menjadi bubuk halus. Selanjutnya sebanyak 5 gram sampel bubuk *bio ring* diambil menggunakan spatula steril dan diletakkan pada permukaan plat KBr, kemudian ditambahkan satu tetes kecil minyak mineral. Plat KBr yang berisi sampel *bio ring* ditutup atasnya dengan pelat KBr. Dilakukan gerakan menggosok

dengan lembut terhadap plat KBr searah jarum jam dari kedua sisi plat secara bolak balik dan didistribusikan campuran sampel secara merata di antara plat. Adapun campuran sampel akan tampak agak bening dan tanpa gelembung. Selanjutnya plat diletakkan dalam keadaan terjepit di spektrometer FTIR merek Shimadzu, tipe IRPrestige21 dan didapatkan spektrumnya (Biochemistry, 2018). Spektrum yang dihasilkan kemudian dianalisis dalam bentuk grafik menggunakan aplikasi OriginLab.



Gambar 3.6 Proses preparasi sampel *bio ring*

3.7 Analisis Data

Tahapan analisis dan pengolahan data dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis parameter total koliform, total koloni, pH, COD dan TSS limbah cair domestik sebelum pengolahan dan sesudah pengolahan dengan menggunakan reaktor MSL. Hasil efluen pengolahan limbah cair domestik dibawa ke Laboratorium yang telah ditentukan untuk diuji.

3.7.1 Efektivitas MSL (*Multi Soil Layering*)

Dari analisis data yang telah didapatkan, dihitung persentase penurunan kadar parameter total koliform, total koloni, pH, COD dan TSS setelah dilakukannya pengolahan air limbah dengan reaktor MSL. Adapun perhitungan rumus persentase penurunan parameter sebagai berikut:

$$\text{Kadar (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\% \quad (3.5)$$

3.7.2 Pengolahan Data melalui SPSS

Data dari hasil pengukuran parameter akan diolah dengan analisis regresi linear sederhana yang terdapat pada *software* SPSS. Regresi linear dapat melihat pengaruh variabel independen terhadap satu variabel dependen. Metode ini akan menyimpulkan adanya suatu hubungan linear atau garis lurus antara variabel dependen dengan masing-masing prediktornya (Kumari dan Yadav, 2018). Regresi linier digunakan untuk memodelkan hubungan linier antara dua variabel. Metode ini membantu kita memahami dan mengkuantifikasi bagaimana perubahan dalam satu variabel (variabel independen) berhubungan dengan perubahan dalam variabel lainnya (variabel dependen) (Abdullah, 2020). Dalam regresi linier, berguna untuk menemukan garis lurus (garis regresi) yang paling baik merepresentasikan hubungan antara variabel-variabel tersebut. Analisis ini digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variabel bebas yaitu HLR dan HRT terhadap variabel terikat diantaranya kadar parameter total koliform, total koloni, pH, COD dan TSS.



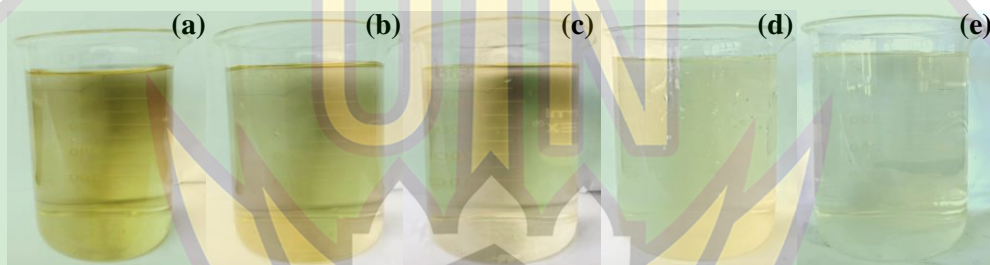
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Efektivitas Metoda *Multi Soil Layering* (MSL)

4.1.1 Efektivitas MSL dengan Variasi HLR

Hasil pengukuran parameter terhadap sampel limbah cair domestik sebelum dan sesudah dilakukan eksperimen serta efektivitasnya dengan variasi HLR dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penampakan fisik limbah cair domestik sebelum eksperimen cenderung memiliki warna yang lebih keruh dan setelah eksperimen terhadap variasi HLR menjadi jauh lebih jernih, yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Limbah cair domestik (a) sebelum eksperimen, (b) sedimentasi awal, (c) HLR 23,8 L/m²/jam, (d) HLR 7,14 L/m²/jam dan (e) HLR 3,4 L/m²/jam

Tabel 4.1 Hasil dan efektivitas (%) pengukuran parameter sebelum dan sesudah perlakuan dengan variasi HLR

Bentuk Eksperimen	Variasi HLR (L/m ² /jam)	Parameter						pH
		Total Koliform (MPN/100mL)	Total Koloni (CFU/mL)	COD (mg/L)	Ef. COD (%)	TSS (mg/L)	Ef. TSS (%)	
Standar Baku Mutu	-	3000	-	100	-	30	-	6 – 9
Pengukuran Awal	-	TH*	$5,95 \times 10^6$	3.886	-	255	-	9,5
Bak Sedimentasi	-	$4,38 \times 10^4$	$4,34 \times 10^6$	2.217	-	207	-	9,5
Reaktor <i>Multi Soil Layering</i> (MSL)	23,80	$1,39 \times 10^4$	$1,32 \times 10^6$	228	94,0	183	28,0	8,3
	7,14	$2,6 \times 10^3$	$5,5 \times 10^5$	110	97,0	65	75,0	7,8
	3,40	6×10^2	$3,6 \times 10^5$	53	98,6	25	98,6	7,3

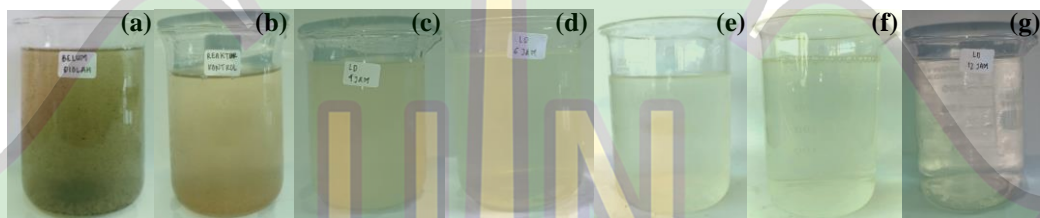
*TH = Tak terhingga

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

4.1.2 Efektivitas MSL dengan Variasi HRT

Hasil pengukuran parameter terhadap sampel limbah cair domestik sebelum dan sesudah dilakukan eksperimen serta efektivitasnya dengan variasi HRT dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penampakan fisik limbah cair domestik sebelum eksperimen cenderung memiliki warna yang lebih keruh dan setelah eksperimen terhadap variasi HRT seiring bertambahnya waktu kontak (4, 6, 8, 10 dan 12 jam) menjadi jauh lebih jernih, yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Limbah cair domestik (a) sebelum eksperimen, (b) Reaktor kontrol, (c) HRT 4 jam, (d) HRT 6 jam, (e) HRT 8 jam, (f) HRT 10 jam dan (g) HRT 12 jam

Hasil pengujian sampel analisa limbah cair domestik sebelum dilakukan perlakuan, pengujian setelah perlakuan dan efektivitas degradasi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil dan efektivitas (%) pengukuran parameter sebelum dan sesudah perlakuan dengan variasi HRT

Bentuk Eksperimen	Variasi HRT (jam)	Parameter						
		Total Koliform (MPN/100mL)	Total Koloni (CFU/mL)	COD (mg/L)	Ef. COD (%)	TSS (mg/L)	Ef. TSS (%)	pH
Standar Baku Mutu	-	3000	-	100	-	30	-	6 – 9
Pengukuran Awal	-	$1,16 \times 10^4$	$4,91 \times 10^6$	15.000	-	226	-	11,4
Reaktor <i>Multi Soil Layering</i> (MSL)	-	$1,16 \times 10^4$	$2,52 \times 10^6$	11.537	23,0	207	22	11,1
	4	$3,1 \times 10^3$	$8,4 \times 10^5$	2.153	86,0	200	25	9,5
	6	$3,1 \times 10^3$	$4,6 \times 10^5$	671	95,5	196	26	9,3
	8	$2,7 \times 10^3$	$4,5 \times 10^5$	344	97,7	150	44	8,4
	10	$2,1 \times 10^3$	$3,7 \times 10^5$	159	98,9	137	49	7,8
	12	9×10^2	$3,0 \times 10^5$	92	99,0	87	67	7,6

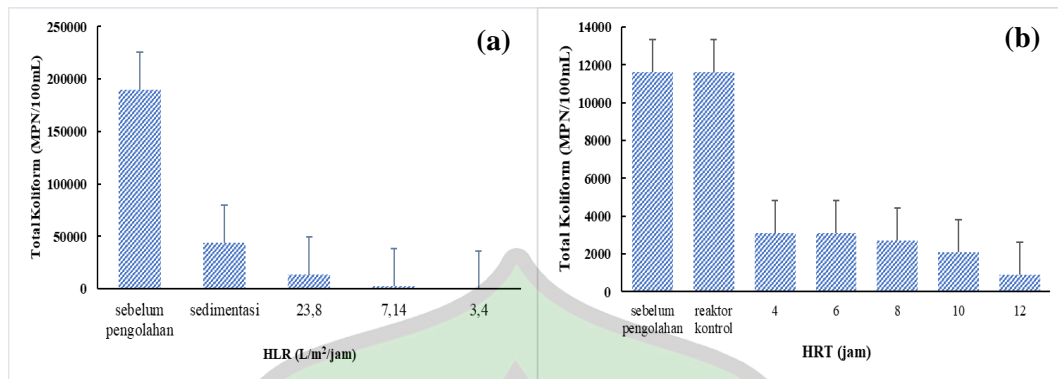
Berdasarkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, parameter total koliform, pH, COD, dan TSS pada limbah cair domestik yang berada di Jalan Bak Karieng Punge Blang Cut, Kota Banda Aceh, melebihi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Sementara itu, standar baku mutu untuk parameter total koloni belum ditetapkan pada air limbah domestik.

4.1.3 Parameter Kadar Total Koliform

Hasil penelitian menunjukkan efektivitas sistem MSL dalam menurunkan kadar total koliform pada air limbah domestik, yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. 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 4.3

Tabel 4.3 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter total koliform

Total Koliform				
HLR		HRT		Baku Mutu
Variasi (L/m ² /jam)	MPN/100mL	Variasi (jam)	MPN/100mL	3000 MPN/100mL
23,80	$1,39 \times 10^4$	4	$3,1 \times 10^3$	
		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	



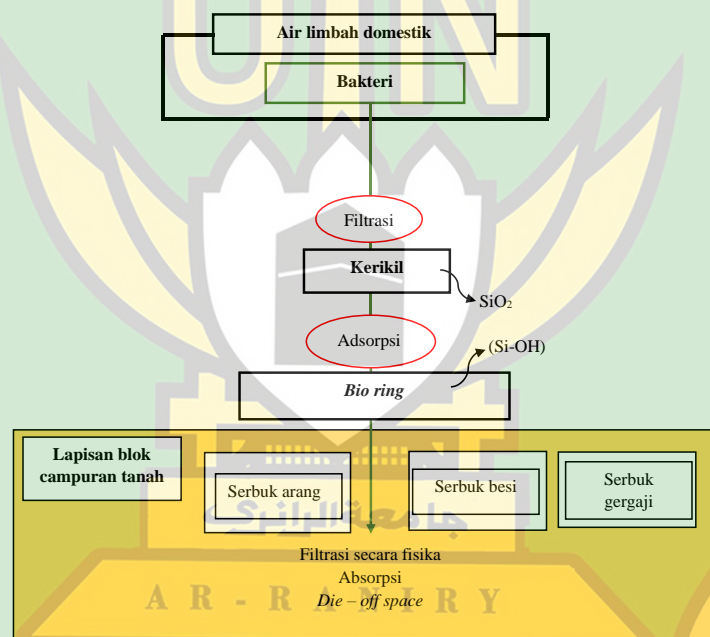
Gambar 4.3 Grafik diagram batang konsentrasi total koliform (MPN/100mL) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)

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. Berdasarkan Gambar 4.3 (a) dan (b) pengolahan air limbah domestik 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 yang terdapat pada *bio ring* berpotensi sebagai pendegradasi bakteri. Berikut di bawah ini merupakan Gambar 4.4 mekanisme pendegradasian total koliform oleh lapisan sistem MSL.

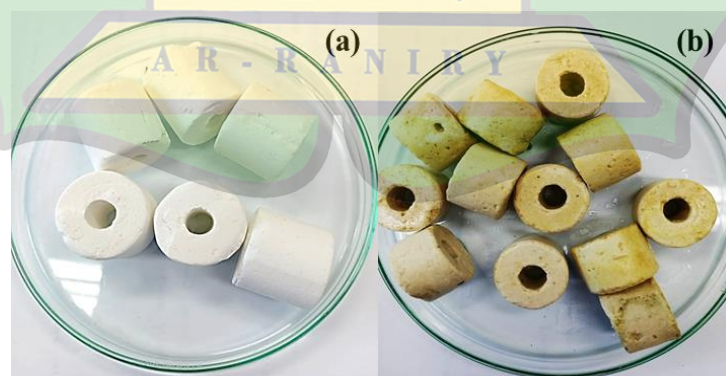


Gambar 4.4 Mekanisme pendegradasian total koliform pada sistem MSL

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/m²/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/m²/jam) dan HRT selama 12 jam memberikan pendegradasian yang optimal karena waktu kontak antara air limbah dengan lapisan sistem MSL lebih maksimal.



Gambar 4.5 *Bio ring* sebelum pengolahan (a) dan *bio ring* setelah pengolahan (b)

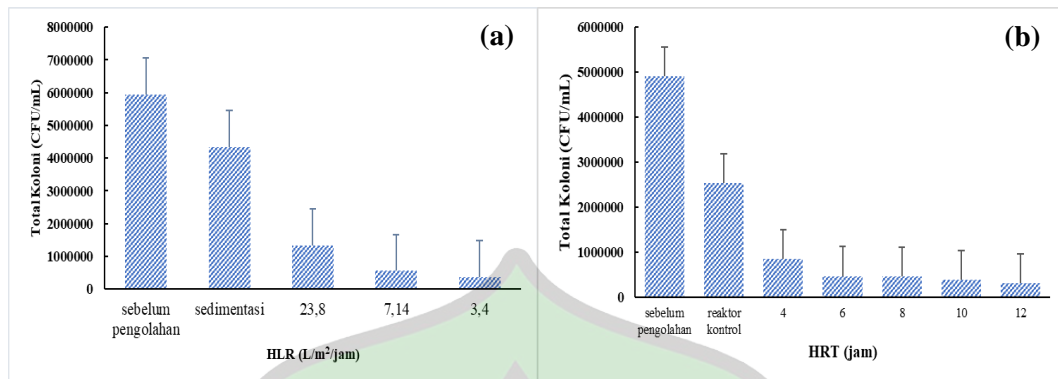
Hasil uji regresi linier sederhana terhadap pengaruh variasi nilai HLR dan HRT pada penurunan kadar total koliform dapat dilihat pada lampiran. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi nilai HLR dan HRT memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan total koliform, dengan nilai signifikansi masing-masing sebesar $0,044 < 0,05$ dan $0,024 < 0,05$. Kedua hasil analisis tersebut didukung oleh hasil uji T. Hasil analisis variasi nilai HLR terhadap total koliform menunjukkan bahwa t hitung $14,599 > t$ tabel $12,71$, sementara pada hasil analisis variasi nilai HRT terhadap total koliform menunjukkan bahwa t hitung $4,217 > t$ tabel $3,18$. Berdasarkan hasil analisis statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa perlakuan variasi HLR dan HRT terhadap pengolahan air limbah domestik dengan metode MSL adalah cara yang efektif.

4.1.4 Parameter Total Koloni

Hasil perhitungan dan efektivitas pengolahan air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 4.4, yang didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan terkait perhitungan total koloni. Adapun Gambar 4.5 (a) dan (b) menunjukkan diagram batang konsentrasi total koloni sebelum dan setelah dilakukan pengolahan air limbah domestik menggunakan variasi nilai HLR dan HRT.

Tabel 4.4 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	$4,6 \times 10^5$
		8	$4,5 \times 10^5$
7,14	$5,5 \times 10^5$	10	$3,7 \times 10^5$
		12	$3,0 \times 10^5$
3,40	$3,6 \times 10^5$		



Gambar 4.6 Grafik diagram batang konsentrasi total koloni (CFU/mL) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5 (a) dan (b), pendegradasian total koloni pada air limbah domestik terdapat penurunan jumlah total koloni yang signifikan sebelum dan sesudah pengolahan. Pada sampel variasi HLR yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 (a), 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 yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 (b), sistem MSL mampu menurunkan jumlah total koloni menjadi $3,0 \times 10^5$ CFU/mL dengan nilai HRT yang dibutuhkan adalah selama 12 jam.

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 tersirkulasi, sehingga berpotensi terjadi pembentukan *biofilm* (Guan dkk., 2015). Kehadiran *biofilm* pada lapisan terluar *bio*

ring yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, kemungkinan 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.

Hasil uji regresi linier sederhana terhadap pengaruh variasi nilai HLR dan HRT pada penurunan kadar total koloni dapat dilihat pada lampiran. Analisis variasi nilai HLR terhadap total koloni menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,037 < 0,05$, menunjukkan bahwa variasi nilai HLR berpengaruh terhadap penurunan total koloni. Demikian pula, analisis variasi nilai HRT terhadap total koloni menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,048 < 0,05$, bahwa variasi nilai HRT juga berpengaruh terhadap penurunan total koloni. Hasil analisis tersebut didukung oleh hasil uji T, dengan nilai t hitung sebesar $17,321 > t$ tabel $12,71$ untuk variasi nilai HLR dan $3,244 > t$ tabel $3,18$ untuk variasi nilai HRT. Berdasarkan analisis data statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa perlakuan variasi nilai HLR dan HRT dalam pengolahan air limbah domestik menggunakan metode MSL adalah cara yang efektif.

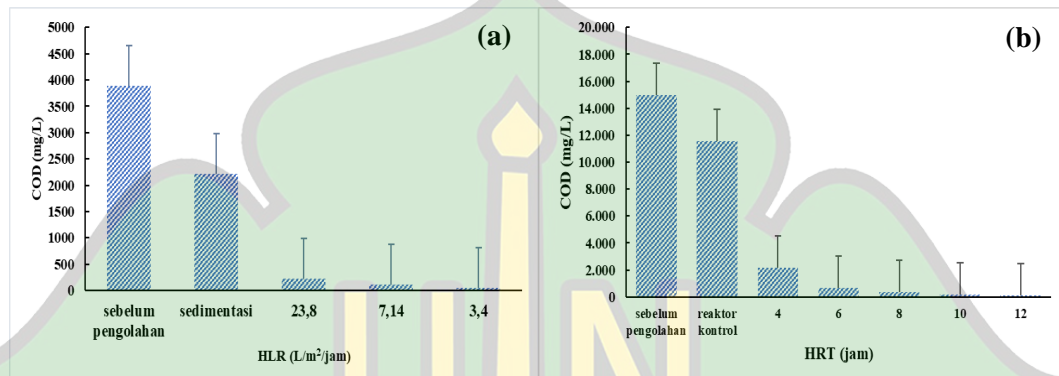
4.1.5 Parameter COD

Hasil dan efektivitas pengujian COD air limbah domestik dengan variasi nilai HLR dan HRT dapat dilihat pada Tabel 4.5. 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 4.5 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter COD

COD					
HLR			HRT		Baku Mutu
Variasi	mg/L	Ef.	Variasi	mg/L	Ef.
(L/m ² /jam)		(%)	(jam)		(%)
23,80	228	94,0	4	2.153	86,0

			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



Gambar 4.7 Grafik diagram batang COD (mg/L) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)

Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa nilai COD untuk sampel *outlet* adalah 53 mg/L dengan efektivitas pengolahan sebesar 98,6% pada nilai HLR 3,40 L/m²/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.

Berdasarkan Gambar 4.6 (a) dan (b) 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 4.5 dan Gambar 4.6, yaitu kemungkinan dari lapisan *bio ring* yang 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).

Hasil uji regresi linier sederhana menunjukkan pengaruh variasi nilai HLR dan HRT terhadap penurunan kadar COD, seperti yang tertera pada lampiran. Analisis variasi nilai HLR menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,047 < 0,05$, menunjukkan bahwa variasi nilai HLR berpengaruh pada penurunan COD. Hasil analisis variasi nilai HRT terhadap parameter COD menunjukkan nilai signifikansi $0,049 < 0,05$, yang mengindikasikan bahwa variasi nilai HRT juga berpengaruh pada penurunan COD. Hasil uji T juga memperkuat kedua analisis tersebut, dengan menunjukkan t hitung $13,400 > t$ tabel $12,71$ untuk variasi nilai HLR dan t hitung $3,204 > t$ tabel $3,18$ untuk variasi nilai HRT. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variasi nilai HLR dan HRT memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan parameter COD.

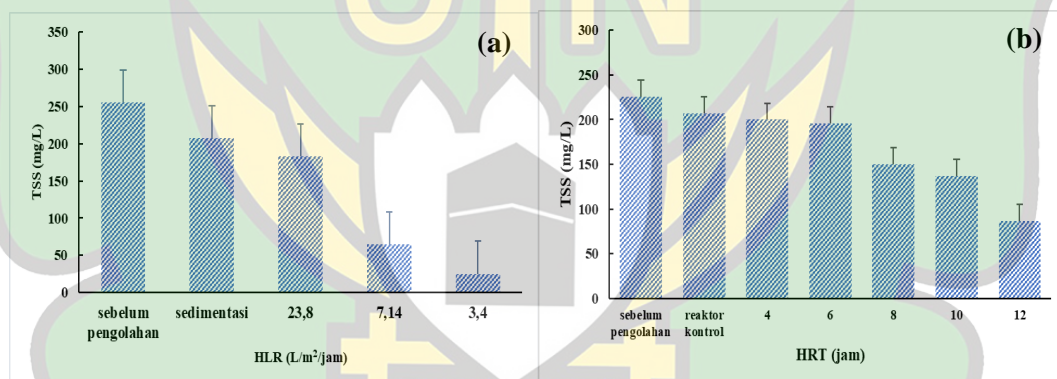
4.1.6 Parameter TSS

Berdasarkan Gambar 4.7 (a) dan (b), menunjukkan bahwa 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 4.6.

Tabel 4.6 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	



Gambar 4.8 Grafik diagram batang TSS (mg/L) dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)

Berdasarkan data pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.7, 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/m²/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/m²/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.

Hasil uji regresi linier sederhana untuk mengetahui pengaruh variasi nilai HLR dan HRT terhadap penurunan kadar TSS tercantum pada lampiran. Analisis variasi nilai HLR menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,046 < 0,05$, yang menunjukkan bahwa variasi nilai HLR mempengaruhi penurunan TSS. Sementara itu, analisis variasi nilai HRT menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,003 < 0,05$, yang dapat menunjukkan bahwa variasi nilai HRT juga berpengaruh terhadap penurunan TSS. Kedua hasil analisis tersebut didukung oleh hasil uji T. Nilai t hitung untuk analisis variasi nilai HLR terhadap TSS adalah $13,694 > t$ tabel $12,71$, sementara untuk analisis variasi nilai HRT terhadap TSS adalah $6,539 > t$ tabel $2,77$. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan dalam penurunan parameter TSS.

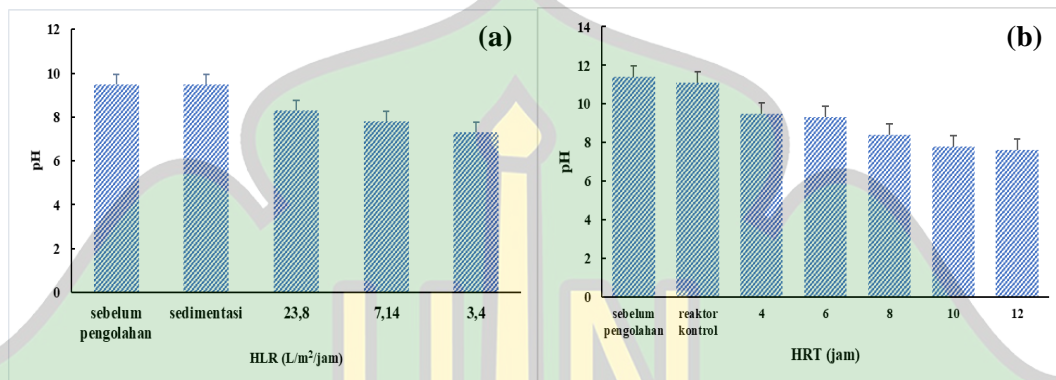
4.1.7 Parameter pH

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.8, 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 $3,40 \text{ L/m}^2/\text{jam}$ dan HRT 12 jam, yaitu menjadi 7,3 dan 7,8. Perubahan nilai pH ini dapat dilihat pada Gambar 4.8 (a) dan (b), yang menunjukkan penetralan nilai pH seiring dengan penurunan nilai HLR dan peningkatan nilai HRT.

Tabel 4.7 Hasil pengolahan air limbah domestik dengan parameter pH

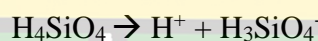
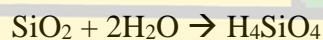
pH				
HLR		HRT		Baku Mutu
Variasi ($\text{L/m}^2/\text{jam}$)	nilai pH	Variasi (jam)	nilai pH	6 – 9
23,80	8,3	4	9,5	

		6	9,3
7,14	7,8	8	8,4
		10	7,8
3,40	7,3	12	7,6



Gambar 4. 9 Grafik diagram batang pH dengan variasi nilai HLR (a) dan dengan variasi nilai HRT (b)

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):



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

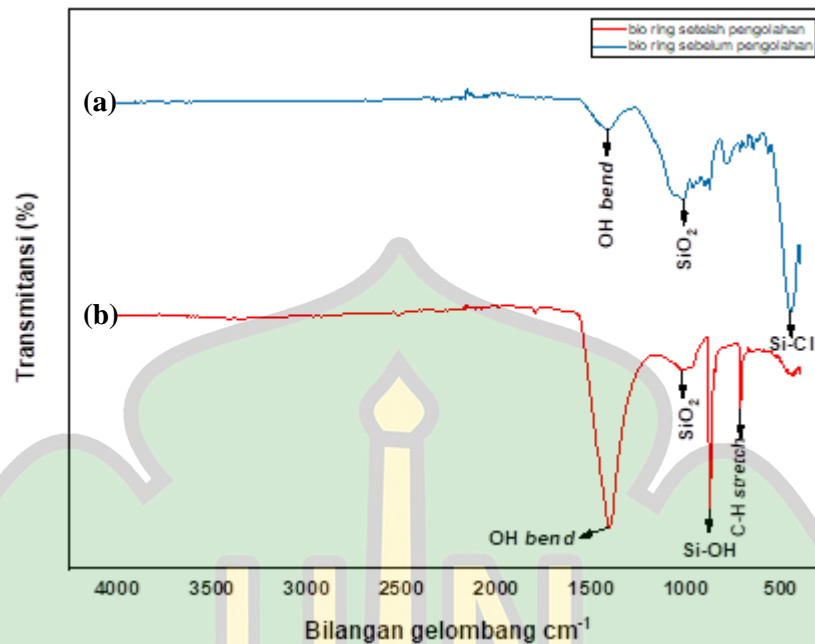
Proses absorpsi pada lapisan SMB juga kemungkinan berperan dalam perubahan nilai pH. Hal ini terjadi karena tanah andosol memiliki kemampuan untuk menetralkan pH dengan menahan kation asam seperti H^+ dan Al^{3+} serta kation

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).

Hasil uji regresi linier sederhana menunjukkan bahwa variasi nilai HLR dan HRT dalam proses pengolahan air limbah mempengaruhi penetralan pH, yang dapat dilihat pada lampiran. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi nilai HLR dan HRT berpengaruh secara signifikan terhadap penetralan pH, dengan nilai signifikansi masing-masing sebesar $0,001 < 0,05$ dan $0,004 < 0,05$. Hasil uji regresi ini didukung oleh hasil uji T yang menunjukkan t hitung sebesar 529,81 dan 7,786 untuk variasi nilai HLR dan HRT, yang secara signifikan lebih besar dari t tabel (12,71 dan 3,18). Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan variasi nilai HLR dan HRT pada sistem MSL berpengaruh pada penetralan nilai pH.

4.2 Karakterisasi FTIR pada *Bio Ring*

Gambar 4.10 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 $1408,37 \text{ cm}^{-1}$ dan setelah pengolahan pada bilangan gelombang $1406,71 \text{ cm}^{-1}$, 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 $1030,26 \text{ cm}^{-1}$ dan $1042,2 \text{ cm}^{-1}$.



Gambar 4.10 Spektrum FTIR *bio ring* sebelum pengolahan (a) dan sesudah pengolahan (b)

Pada Gambar 4.10 spektrum (b) diperoleh 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).

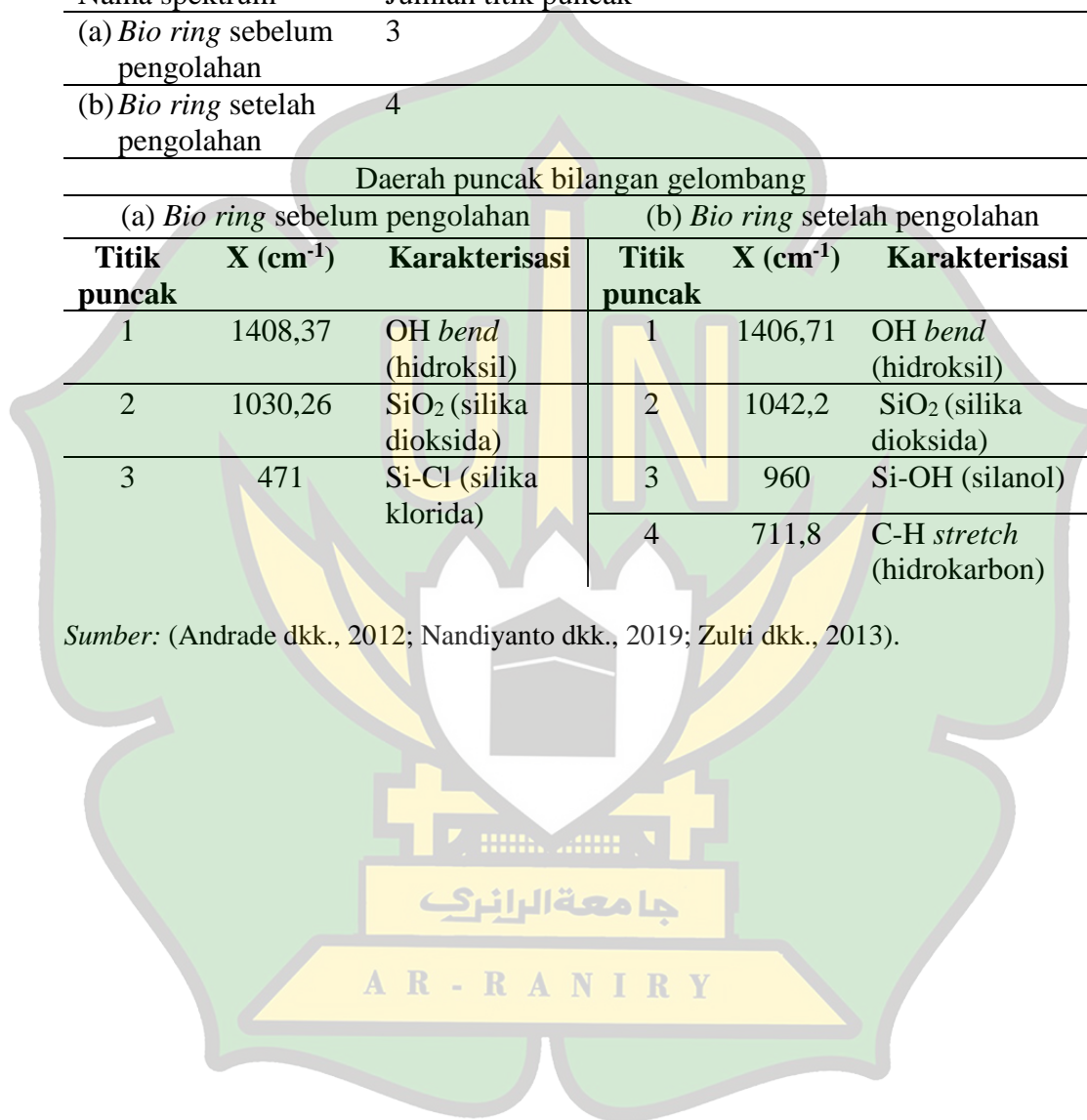
Adapun gugus fungsi C-H *stretch* muncul pada bilangan gelombang $711,8\text{ cm}^{-1}$ terhadap spektrum (b), gugus hidrokarbon (C-H) bersifat hidrofobik dan termasuk golongan lipid yang merupakan kelompok senyawa organik seperti lemak, minyak dan molekul lainnya yang tidak larut dalam air (Imamah dan 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 4.8 merupakan analisa spektrum FTIR pada *bio ring*.

Tabel 4.8 Spektrum FTIR *bio ring*

Analisis spektrum					
Nama spektrum		Jumlah titik puncak			
(a) <i>Bio ring</i> sebelum pengolahan		3			
(b) <i>Bio ring</i> setelah pengolahan		4			
Daerah puncak bilangan gelombang					
(a) <i>Bio ring</i> sebelum pengolahan			(b) <i>Bio ring</i> setelah pengolahan		
Titik puncak	X (cm ⁻¹)	Karakterisasi	Titik puncak	X (cm ⁻¹)	Karakterisasi
1	1408,37	OH <i>bend</i> (hidroksil)	1	1406,71	OH <i>bend</i> (hidroksil)
2	1030,26	SiO ₂ (silika dioksida)	2	1042,2	SiO ₂ (silika dioksida)
3	471	Si-Cl (silika klorida)	3	960	Si-OH (silanol)
			4	711,8	C-H <i>stretch</i> (hidrokarbon)

Sumber: (Andrade dkk., 2012; Nandiyanto dkk., 2019; Zulti dkk., 2013).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang diperoleh maka dapat diambil kesimpulan mengenai pengolahan limbah cair domestik menggunakan metode *Multi Soil Layering* (MSL) yaitu:

1. 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/m²/jam pada parameter total koliform dari $1,89 \times 10^5$ MPN/100mL menjadi 6×10^2 MPN/100mL, parameter 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, parameter total koloni dari $4,91 \times 10^2$ 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.
2. Karakterisasi FTIR *bio ring* menunjukkan adanya senyawa adsorben dalam mendegradasi kadar pencemar air limbah domestik diantaranya gugus fungsi SiO₂ pada bilangan gelombang 1030,26 cm⁻¹ dan 1042,2 cm⁻¹ serta Si-Cl pada bilangan gelombang 471 cm⁻¹.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, penulis mengajukan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan studi dan penelitian lebih lanjut mengenai metode MSL menggunakan variasi jenis tanah, jenis media dan ukuran bak reaktor sehingga didapatkan perbandingannya.

2. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian terhadap parameter lain yang belum dilakukan pada penelitian ini seperti nitrat, amonia serta minyak dan lemak.
3. Perlu dilakukan studi dan penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan air limbah domestik menggunakan media *bio ring* saja sehingga didapatkan perbandingannya dengan menggunakan media lapisan MSL.



DAFTAR PUSTAKA

- Agung, R., T., dan Winata, H. S. (2017). Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dengan Menggunakan Teknologi Plasma. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 19-28.
- Abou-Elela, S. I., Elekhrawy, M. A., Khalil, M. T., dan Hellal, M. S. (2019). Factors Affecting the Performance of Horizontal Flow Constructed Treatment Wetland Vegetated with *Cyperus papyrus* for Municipal Wastewater Treatment. *International Journal of Phytoremediation*, 19(11), 1023–1028.
- 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.
- Adinda, T., Elystia, S., dan HS, E. (2017). Metoda Multi Soil Layering Dalam Pengolahan Air Gambut Dengan Variasi Hydraulic Loading Rate Dan Material Organik Pada Lapisan Anaerob. *FTeknik*, 2(1), 1–7.
- 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.
- Alfian, A. R., dan Andalas, U. (2021). Teori dan Praktik : Pemeriksaan Air Limbah (Issue November).
- Andrade, G. F., Soares, D. C. F., Almeida, R. K. D. S., dan Sousa, E. M. B. (2012). Mesoporous Silica SBA-16 Functionalized with alkoxy silane groups: Preparation, Characterization, and Release Profile Study. *Journal of Nanomaterials*, 2012.
- Ariani, W., Sumiyati, S., dan Wardana, I. W. (2017). Studi Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Cair Rumah Makan dengan Teknologi Biofilm Anaerob - Aerob Menggunakan Media Bioring Susunan Random. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 1–10.
- 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.
- Arsa, D. A. (2022). Pengolahan Limbah Cair Domestik menjadi Air Bersih dengan Metode Saringan Bertingkat dan Fotodegradasi menggunakan Fotokatalis TiO_2 . *Program Studi Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh*.
- 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.
- B, R., dan Mallongi, A. (2018). Studi Karakteristik dan Kualitas BOD dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Umum Daerah Lanto DG. *Pasewang Kabupaten Jeneponto*. 1(69).
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia SNI. 06-6989.3-2019 Air dan air limbah- Bagian 2: Cara uji kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia SNI. 06-6989.3-2019 Air dan air limbah- Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid/TSS*) secara gravimetri. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia SNI. 6989.11:2019 Air dan air limbah- Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia SNI. 8990:2021 Metode Pengambilan Contoh Uji Air Limbah untuk Pengujian Fisika dan Kimia. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bhernama, B. G., Musfira, N., dan Hamdan, A. M. (2023). Efektivitas Biokoagulan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap Penurunan Kadar Pencemar pada Limbah. *AMINA*, 5(1), 16–25.
- Biochemistry, D. of C. ad. (2018). FT-IR Sample Preparation. *Wear*, 4–6.
- 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.

- Daroini, T., dan Arisandi, A. (2020). *Analisis BOD (Biological Oxygen Demand) di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu , Bangkalan*. 1(4).
- Data, R. U. S. A., Masunaga, T., Wakatsuki, T., Yaseen, Z. M., Zigale, T. T., Tiyasha, D, R. K., Salih, S. Q., Awasthi, S., Tung, T. M., Al-Ansari, N., Bhagat, S. K., Lamzouri, K., Mahi, M., Ouatar, S., Bartali, E., Masunaga, T., Latrach, L., Mandi, L., ... Bakri, M. K. Bin. (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.
- Elystia, S. (2014). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Typha Latifolia. 1(2), 1–9.
- Emilia, I. (2019). *Parameter Fisika, Kimia, dan Bakteriologi Air Minum Alkali Terionisasi yang Diproduksi Mesin Kangen Water LeveLuk SD 501*. 16(1), 67–73.
- Erni, Y. (2018). Efektivitas Biofilter Bermedia Kerikil, Pasir, Ijuk, Botol Plastik dan Kiapu (*Pistia stratiotes*) dalam Menurunkan Kadar BOD, COD pada Limbah Cair Mie Basah. 1–9.
- Fadzry, N., Hidayat, H., dan Eniati, E. (2020). Analysis of COD, BOD and DO Levels in Wastewater Treatment Instalation (IPAL) at Balai Pengelolaan Infrastruktur Air Limbah dan Air Minum Perkotaan Dinas PUP-ESDM Yogyakarta. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(2), 80–89.
- Fahyra, F., Abd Mujahid Hamdan, dan Syafrina Sari Lubis. (2023). Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Trickling Filter Menggunakan Media Bioball. *Lingkar : Journal of Environmental Engineering*, 3(2), 44–57.
- Fajri, M. N., Handayani, Y. L., dan Sutikno, S. (2017). Efektifitas Rapid Sand Filter untuk Meningkatkan Kualitas Air Daerah Gambut di Provinsi Riau. *Jurnal Teknik*, 4(1), 1–9.

- Fajriansyah, F. (2017). Kondisi Industri Tahu Berdasarkan Hygiene dan Sanitasi Di Kota Banda Aceh. *AcTion: Aceh Nutrition Journal*, 2(2), 149.
- 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).
- Fildzah, A. (2017). Proses Pengolahan Air Limbah Secara Fisika, Kimia dan Biologi. *Institut Teknologi Sepuluh November*, 12(December), 8.
- Filliazati, M., Apriani, I., Zahara, T. A., Studi, P., Lingkungan, T., Teknik, F., Tanjungpura, U., Kimia, P. S., dan Tanjungpura, U. (2020). *Pengolahan limbah cair domestik dengan biofilter aerob menggunakan media bioball dan tanaman kiambang I*. 1–10.
- 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).
- 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.
- Hamdan, A. M., Azkiya, R., Rahman, A., Efriana, M., Maulana, R., dan Hanif, H. (2023). The Use of Zinc Oxide (ZnO) Photocatalyst for Photodegradation of Car Wash Wastewater. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 19(1), 11.
- Hamdan, A. M., Fajri, W. N., Rahmi, R., dan Hanif, H. (2022). Adsorpsi Limbah Cair Rumah Tangga dengan Mineral Magnetit (Fe_3O_4). *Jurnal Phi Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*, 3(3), 70.
- Hamdan, A. M., Yahya, H., Muharrami, S., dan Maulana, R. (2022). Quick Sand Filtration in Restaurant Waste Treatment with Coconut Fiber and Activated Carbon Media: Application of Van der Waals Force. *Jurnal Riset Dan Kajian Pendidikan Fisika*, 9(2), 76–87.
- 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.

- Hariyanto, T., dan Budianto, S. (2018). Analisis Sebaran Total Suspended Solids (Tss) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal (Studi Kasus : Sungai Porong, Sidoarjo). *Geoid*, 13(1), 93.
- Herman, W., Darmawan, D., dan Gusnidar, G. (2017). Pemanfaatan Tanah Vulkanik Dalam Sistem Multiple Soil Layering (MSL) Terhadap Pemurnian Air Irigasi Terpolusi. *Jurnal BiBieT*, 2(2), 49.
- 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.
- Imamah, S., dan Muti'ah, R. (2020). Studi Proses Mekanisme Pengontrolan Sintesis Lipid. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 3(1), 565–571.
- Indrayani, L., dan Rahmah, N. (2018). Nilai Parameter Kadar Pencemar Sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 41.
- Ishak, A., Novalin, S. D., Industri, D. T., Teknik, F., Sumatera, U., dan Medan, U. (2020). *Identifikasi : Kriteria untuk Pengolahan Air Limbah Menilai*. 22(2), 33–40.
- Ivontianti, W. D., Sitanggang, E. P. O., dan Rezeki, E. S. (2022). Pengolahan Limbah Cair Lindi Menggunakan Multi Soil Layering (MSL) Bebas Lumpur PDAM. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 5(3), 228–237.
- Jenie, B. (2019). Karakteristik dan Mikroorganisme Pengurai Limbah Industri Pangan. *Tejnik Penanganan Limbah Industri Pangan*, 1–36.
- 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.
- Kemenkes, R. (2019). Petunjuk Teknis: Instalasi Pengolahan Air Limbah Pembesaran Udang. *Kementerian Kelautan Dan Perikanan*, 24(2), 1–9.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Peraturan Menteri LHK No.68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

- Kholif, M. Al, Alifia, A. R., Pungut, P., Sugito, S., dan Sutrisno, J. (2020). Kombinasi Teknologi Filtrasi dan Anaerobik Buffled Reaktor (ABR) untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 15(2), 19.
- Kota Banda Aceh, B. P. S. (2022). *Kecamatan Jaya Baru dalam Angka 2022*.
- Kumari, K., dan Yadav, S. (2018). Linear Regression Analysis Study. *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*, 4(1), 33.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lizayana, Mudatsir, dan Iswadi. (2017). Densitas Bakteri pada Limbah Cair Pasar Tradisional. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi*, 11(1), 95–106.
- Luanmanee, S., Attanandana, T., Masunaga, T., dan Wakatsuki, T. (2001). The efficiency of a multi-soil-layering system on domestic wastewater treatment during the ninth and tenth years of operation. *Ecological Engineering*, 18(2), 185–199.
- Lumaela, A. K., Otok, B. W., dan Sutikno. (2020). Pemodelan Chemical Oxygen Demand (Cod) Sungai di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(1), D100–D105.
- 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.
- Mahdi, I. M. (2018). Decision Support System for Proper Selection of Wastewater Treatment Plants Using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Mahdi American Journal of Engineering Research (AJER)*, 1, 207–216.
- Maksum, A. W. (2018). Pengaruh Penggunaan Media Biofilter yang Berbeda terhadap Kelulushidupan dan Laju Pertumbuhan Udang Galah (*Macrobrachium rosenbergii* De Man). *Majalah Teknologi Agro Industri (Tegi)*, 63(2), 1–3.
- Malia 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.
- Mansouri, Z., Moghaddas, N. H., dan Dahrazma, B. (2018). Wastewater treatment plant site selection using AHP and GIS: a case study in Falavarjan, Esfahan. *JGeope*, 3(2), 63–72.
- Marantiah, D. (2019). Penentuan Beberapa Parameter Mutu Air Limbah Domestik Di Instalasi Pengolahan Air Limbah Perusahaan Daerah Air Minum Tirtanadi Cemara Medan. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*. 1–45.
- Marganingrum, D., dan Estiaty, L. M. (2017). Evaluasi Kebijakan Baku Mutu Air Limbah (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Tekstil Di Bandung). *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 7(1), 9–17.
- Marlina, N., dan Hafidh, R. (2017). Pengaruh Kekasaran Saluran dan Suhu Air Sungai pada Parameter Kualitas Air COD, TSS di Sungai Winongo Menggunakan Software Qual2Kw tentang Pengaruh Kekasaran Saluran dan Variasi Suhu dalam Parameter Kualitas Air Limbah. 9, 122–133.
- Mohamed, W., Hamdan, R., Othman, N., Razi, M., Zin, M., dan Arshad, 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.
- Mooheng, P., dan Phenrat, T. (2018). Acid-assisted Recycling of Fe(OH)₃ Sludge

- as Coagulant for Metalworking Fluid Wastewater Treatment the NAXOS 2018 6 th International Conference on Sustainable Solid Waste Management. 1–10.
- 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.
- Mugani, R., Aba, R. P., Hejjaj, A., Khalloufi, F. El, 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 (Switzerland)*, *14*(5).
- Muhsinin, N. (2019). Pengolahan Air Limbah Domestik secara Fitoremediasi Sistem Constructed Wetland dengan Tanaman Pandanus amaryllifolius dan *Azolla microphylla*. *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 Spectroscopy 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).
- Nuraini, S. (2017). Pengolahan Limbah Air Industri dengan Lumpur Aktif dan Karbon Aktif. *January*.
- Pakpahan, R. S., Picauly, I., Mahayasa, I. N. W., dan Nusa, U. (2015). Cemaran Mikroba *Escherichia coli* dan Total Bakteri Koliform pada Air Minum Isi Ulang.
- 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.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Tentang Baku Mutu Limbah Cair Domestik.
- Pour, H. R., Mirghaffari, N., Marzban, M., dan Marzban, A. (2020). Determination of biochemical oxygen demand (BOD) without nitrification and mineral oxidant bacteria interferences by carbonate turbidimetry. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 5(5), 90–95.
- 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.
- Putri, W. A. E., Purwiyanto, A. I. S., Fauziah, ., Agustriani, F., dan Suteja, Y. (2019). Kondisi Nitrat, Nitrit, Amonia, Fosfat dan BOD di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1), 65–74.
- Raganata, T. C., Aritonang, H., dan Suryanto, E. (2020). Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress*, 12(2), 54–58.
- Ren, S., Song, P., Cheng, H., Liu, C., dan Chen, R. (2022). Enhanced Treatment of Decentralized Domestic Sewage Using Gravity Flow Multi Soil Layering Systems Coupled with Iron-Carbon Microelectrolysis. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19).
- Rois, I., Pranoto, dan Sunarto. (2018). Aplikasi Alofan dalam Tanah Andisol sebagai Adsorben untuk Menurunkan Bakteri Coliform Limbah Cair Domestik. *14(2)*.
- Royani, S., Fitriana, A. S., Bias, A., Enarga, P., dan Zufrialdi, H. (2021). *Kajian COD dan BOD Dalam Air di Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Kaliori Kabupaten Banyumas*. 13(82), 40–49.
- 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.
- 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.
- Sani, K., dan Fathnur. (2018). Metodologi Penelitian Farmasi Komunitas dan Eksperimental. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 4(1), 48–52.
- Saputra, M., dan Viena, V. (2020). Efektivitas Biofilter Dari Media Sedotan Plastik Untuk Penyisihan Limbah Cair Rumah Potong Hewan Kota Banda Aceh The Effectiveness Of Pipettes Waste Biofilter Media For The Removal Of Slaughterhouse Wastewater In Banda Aceh. *Jurnal TEKSAGRO*, 1(2), 30–38.
- Sari, M., dan Huljana, M. (2019). Analisis Bau , Warna , TDS , pH , dan Salinitas Air Sumur Gali di Tempat Pembuangan Akhir. 3(1), 1–5.
- 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.
- Sepvianti, W., Btari, S., dan Kusumaningrum, C. (2022). Antibacterial Activity of 2'-hidroxy-4', 6'dimethoxychalcone. *Journal of Health*, 6(1), 37–39.
- Setiawan, A., Afiuddin, A. E., Aini, Q., dan Dewi, T. U. (2018). Recovery Koagulan dari Sludge WWTP Pembangkit Listrik Tenaga Uap sebagai Alternatif Pengolahan Air Limbah secara Kimia. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 12(2), 126–138.
- Setiyono. (2018). Teknologi Biotur (Pengolahan dan Daur Ulang Air Limbah Rumah Tangga). *Prosiding Seminar Nasional Dan Konsultasi Teknologi Lingkungan, September*, 89–98.
- Shah, S. M. H., Yusof, K. W., Mustafa, Z., dan Mustafa, A. (2021). Concentration of Total Suspended Solids (TSS) Influenced by the Simulated Rainfall Event on Highway Embankment. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(6), 493–496.

- Song, P., Huang, G., Hong, Y., An, C., Xin, X., dan Zhang, P. (2020). A Biophysiological Perspective on Enhanced Nitrate Removal from Decentralized Domestic Sewage using Gravitational-Flow Multi-Soil-Layering Systems. *Chemosphere*, 240, 124868.
- Sulistia, S., Septisya, A. C., dan Vokasi, S. (2019). Analisis Kualitas Air Limbah Domestik. *I2(1)*, 41–57.
- Sulistiyanti, D., Antoniker, A., dan Nasrokhah, N. (2018). Penerapan Metode Filtrasi dan Adsorpsi pada Pengolahan Limbah Laboratorium. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 3(2), 147.
- Sulistiyorini, I. S. M. E. A. S. A. (2018). Analisis Kualitas Air Pada Sumber Mata Air. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(1), 64–76.
- Sumada, K., Chaerani, N. C., Priambodo, M. D., dan Saputro, E. A. (2021). Pengolahan Limbah Cair Industri Pakan Ternak dengan Kombinasi Proses Aerasi dan Biologi Aerob. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 249–256.
- Susana, T. (2019). Tingkat Keasaman (pH) dan Oksigen Terlarut sebagai Indikator Kualitas Perairan Sekitar Muara Sungai Cisadane. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(2), 33.
- Taufik, A., Sri, F., dan Pangesti, P. (2020). Perancangan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Di Penauan Kelurahan Kubangsari Cilegon. *Agustus*, 3(2), 49–63.
- 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.
- 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.
- Wasita, D. (2019). Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Tanaman Air pada Parameter COD, BOD dan DO. *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- Wati, R. Y. (2018). Pengaruh Pemanasan Media PCA Berulang terhadap Uji TPC di Laboratorium Mikrobiologi Teknologi Hasil Pertanian Unand. *Jurnal TEMAPELA*, 1(2), 44–47.

- Wirman, R. P., Wardhana, I., dan Isnaini, A. (2019). Jurnal Fisika Kajian Tingkat Akurasi Sensor pada Rancang Bangun Alat Ukur Total Dissolved. 9(1), 37–46.
- Wiryono. (2019). Buku Pengantar Ilmu Lingkungan. *Bengkulu: Pertelon Media*.
- Yudo, S., dan Said, N. I. (2018). Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 10(2), 58–75.
- Zein, R. (2020). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Lapisan Multimedia Yang Telah Didiamkan 2 Tahun. 5(2), 126–136.
- 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).

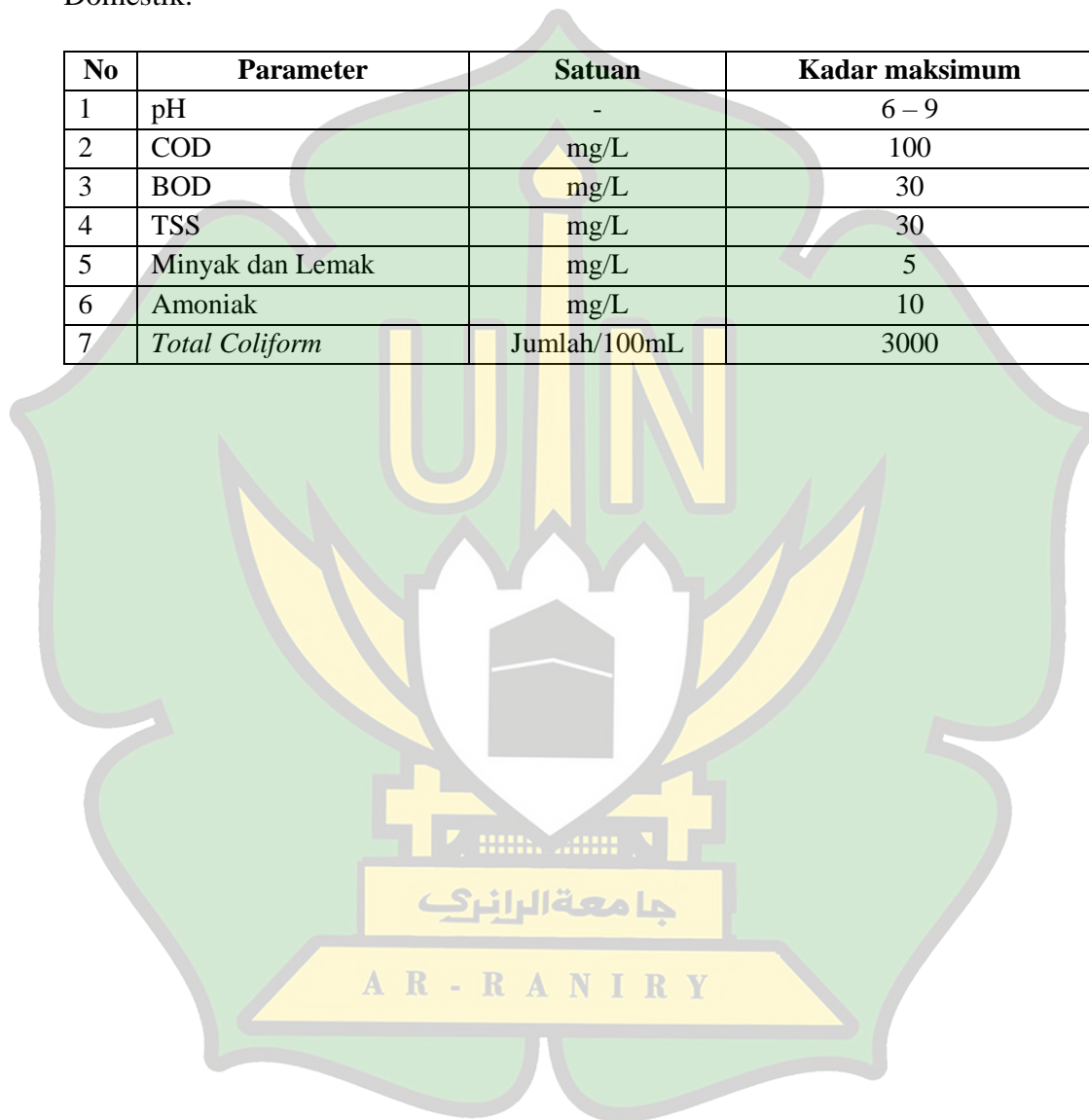


LAMPIRAN

Lampiran 1. Standar Baku Mutu

Permen LHK: P. 68/MenLHK-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

No	Parameter	Satuan	Kadar maksimum
1	pH	-	6 – 9
2	COD	mg/L	100
3	BOD	mg/L	30
4	TSS	mg/L	30
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5
6	Amoniak	mg/L	10
7	<i>Total Coliform</i>	Jumlah/100mL	3000






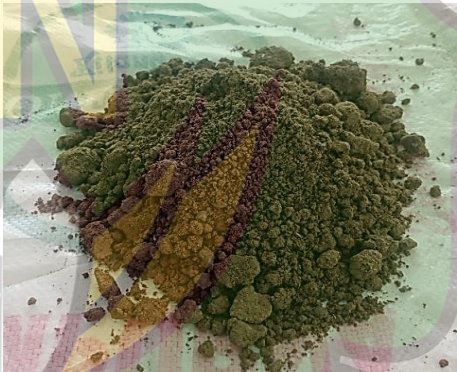


Lampiran 2. Metode Pengambilan Contoh Sampel

Metode pengambilan contoh sampel menurut (SNI 6989.59:2008):

1. Persyaratan alat pengambil contoh sampel harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
 - a. Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat contoh.
 - b. Mudah dicuci dari bekas contoh sebelumnya.
 - c. Contoh mudah dipindahkan ke dalam botol penampung tanpa ada sisa bahan tersuspensi di dalamnya.
 - d. Mudah dan aman di bawa.
 - e. Kapasitas alat tergantung dari tujuan pengujian.
2. Jenis alat pengambil contoh sampel
Alat pengambil contoh sampel sederhana dapat berupa ember plastik yang dilengkapi dengan tali atau gayung plastik yang bertangkai panjang.
3. Pengambilan contoh sampel
Cara pengambilan contoh sampel untuk pengujian kualitas air sebagai berikut:
 - a. Siapkan alat pengambil contoh sesuai dengan saluran pembuangan.
 - b. Bilas alat dengan contoh yang akan diambil, sebanyak 3 (tiga) kali.
 - c. Ambil contoh sesuai dengan peruntukan analisis dan campurkan dalam penampung sementara, kemudian homogenkan.
 - d. Masukkan ke dalam wadah yang sesuai peruntukan analisis.
 - e. Lakukan segera pengujian untuk parameter suhu, kekeruhan dan daya hantar listrik, pH dan oksigen terlarut yang dapat berubah dengan cepat dan tidak dapat diawetkan.
 - f. Hasil pengujian parameter lapangan dicatat dalam buku catatan khusus.
 - g. Pengambilan contoh untuk parameter pengujian di laboratorium dilakukan pengawetan.


Lampiran 3. Dokumentasi Tahapan Perlakuan dan Pengukuran

3.1 Tahap Persiapan





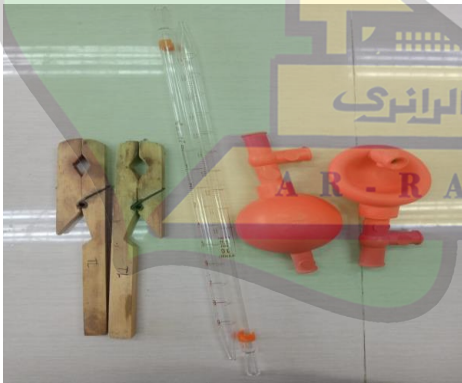

	
Pembuatan reaktor kaca	Sekam padi
	
Serbuk arang	Tanah andosol
	
Proses pembuatan media SMB	Proses pencetakan media SMB







	
<p>Sampel limbah cair domestik</p>	<p>Pengambilan sampel</p>
	
<p>Kain strimin</p>	<p>Kerikil silika</p>
	
<p><i>Bio ring</i></p>	<p>Media SMB yang sudah dioven</p>

3.2 Tahap Perlakuan

	
<p>Penyusunan lapisan media pada reaktor MSL</p>	<p>Reaktor MSL variasi HRT</p>
	
<p>Reaktor MSL variasi HLR</p>	<p>Penggerusan <i>bio ring</i></p>
	
<p>Hasil olahan dengan variasi HLR</p>	<p>Hasil olahan dengan variasi HRT</p>

3.3 Tahap Pengukuran

	
Larutan aquades	Pengukuran pH sampel
	
Tabung kultur COD	Larutan kimia pengukuran COD
	
Alat pembantu pengukuran sampel COD	COD Reaktor

	
<p>COD Meter</p>	<p>Pengukuran COD sampel</p>
	
<p>Kertas saring</p>	<p>Pompa vakum TSS</p>
	
<p>Timbangan analitik</p>	<p>Perlakuan TSS sampel</p>



Bio ring setelah pengolahan



Alat autoklaf



Alat inkubator



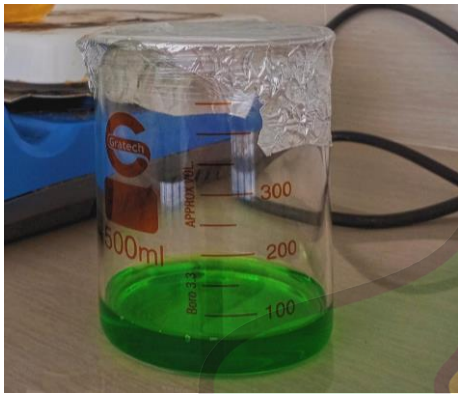
Bunsen



Alat vortex



Media *Lactose Broth* (LB)



Media *Brilliant Green Lactose Broth*
(BGLB)



Media pengenceran uji total koliform



Uji penduga pada sampel





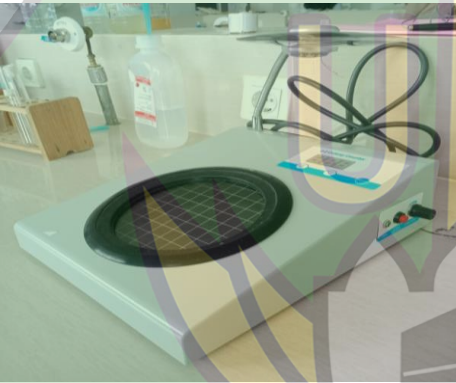

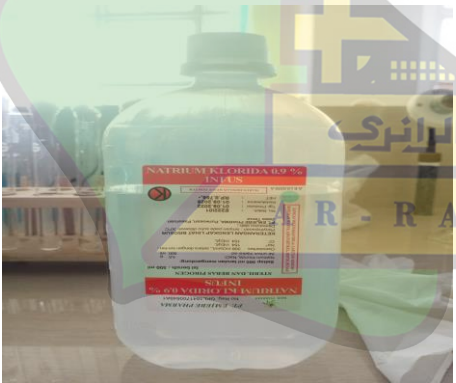

Uji konfirmasi pada sampel




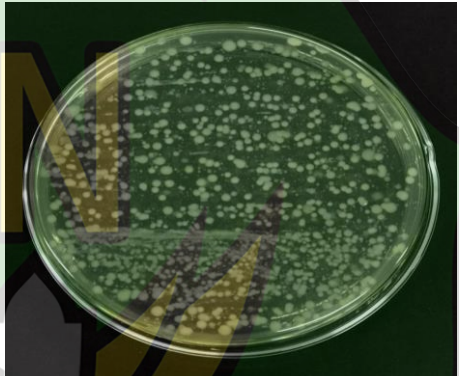
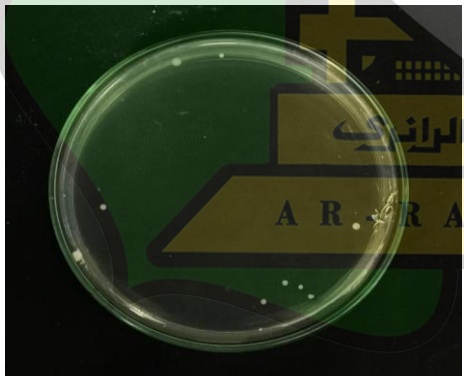
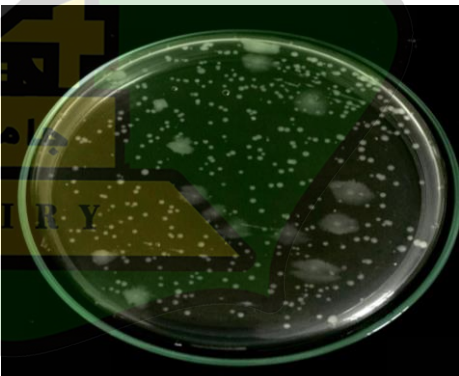


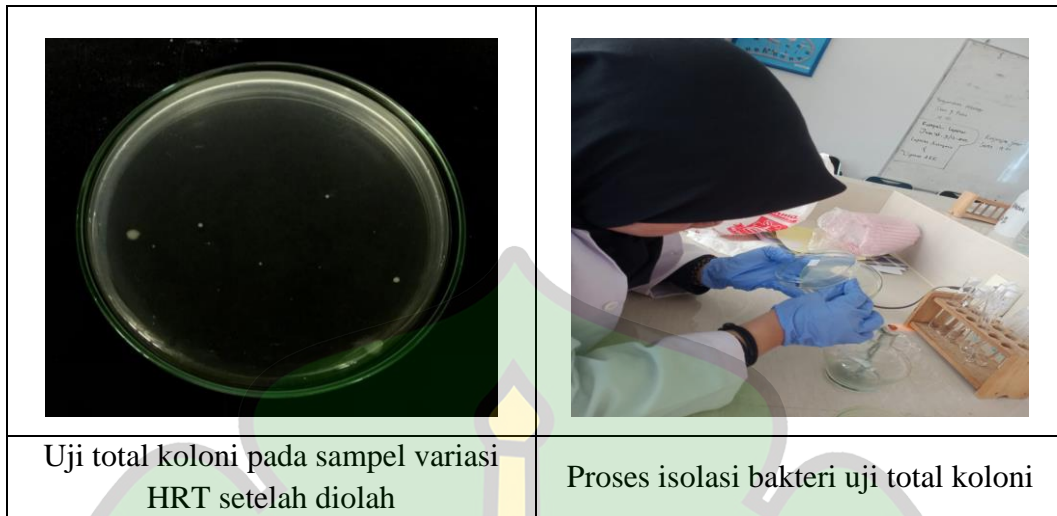
Uji total koliform pada sampel variasi
HRT sebelum diolah



Uji total koliform pada sampel variasi
HRT setelah diolah

	
<p>Uji total koliform pada sampel variasi HLR sebelum diolah</p>	<p>Uji total koliform pada sampel variasi HLR setelah diolah</p>
	
<p>Alat colony counter</p>	<p>Alat oven</p>
	
<p>Larutan NaCl</p>	<p>Alat swab sampel total koloni</p>

	
<p>Cawan petri</p>	<p>Media <i>Plate Count Agar</i> (PCA)</p>
	
<p>Preparasi sampel uji total koloni</p>	<p>Uji total koloni pada sampel variasi HLR sebelum diolah</p>
	
<p>Uji total koloni pada sampel variasi HLR setelah diolah</p>	<p>Uji total koloni pada sampel variasi HRT sebelum diolah</p>



Lampiran 4. Perhitungan variasi HLR

Rumus yang digunakan untuk menghitung variasi HLR adalah:

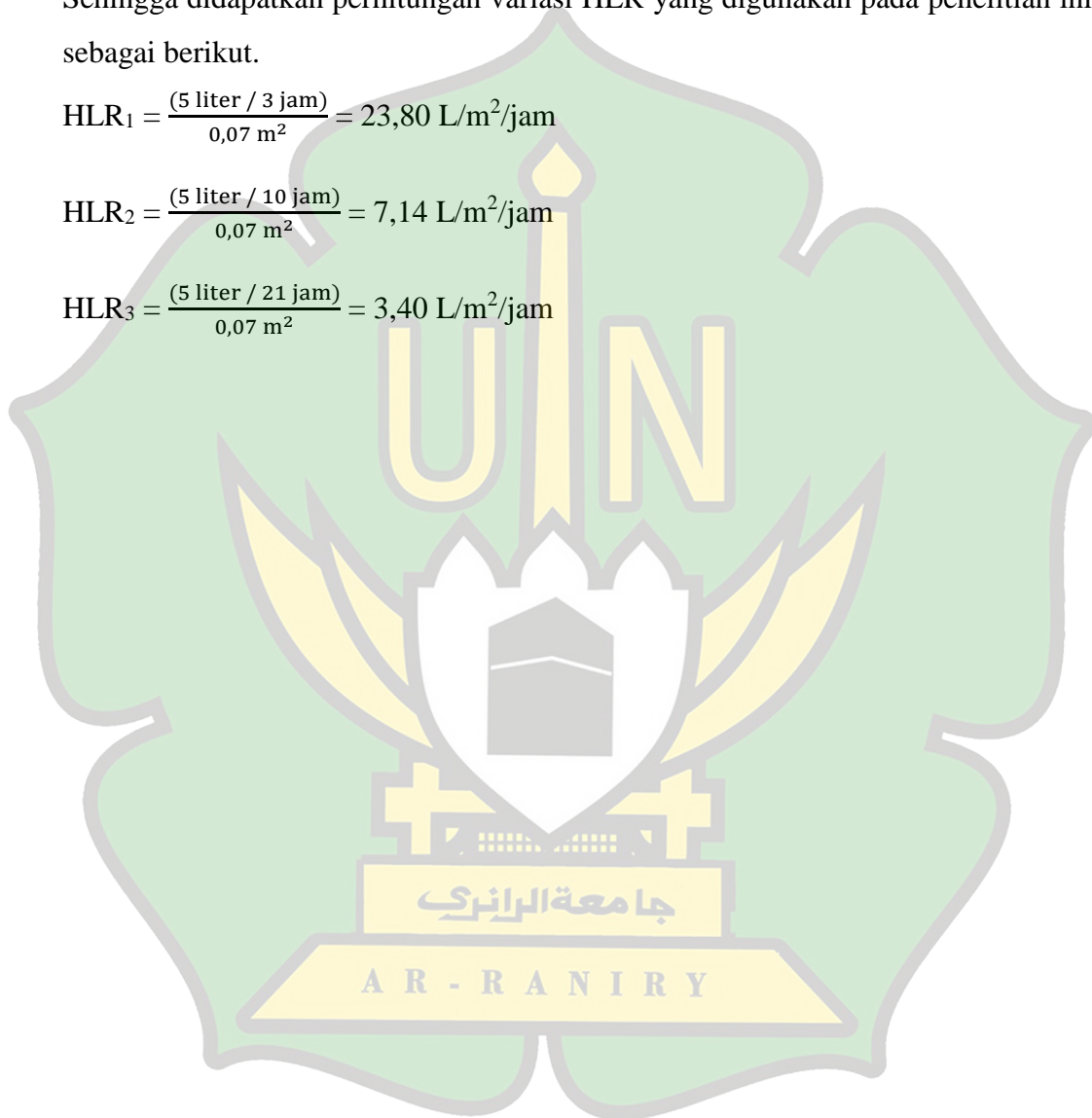
$$\text{HLR} = \frac{(\text{Volume air limbah (liter)}/\text{Waktu detensi (jam)})}{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}}$$

Sehingga didapatkan perhitungan variasi HLR yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

$$\text{HLR}_1 = \frac{(5 \text{ liter} / 3 \text{ jam})}{0,07 \text{ m}^2} = 23,80 \text{ L/m}^2/\text{jam}$$

$$\text{HLR}_2 = \frac{(5 \text{ liter} / 10 \text{ jam})}{0,07 \text{ m}^2} = 7,14 \text{ L/m}^2/\text{jam}$$

$$\text{HLR}_3 = \frac{(5 \text{ liter} / 21 \text{ jam})}{0,07 \text{ m}^2} = 3,40 \text{ L/m}^2/\text{jam}$$



Lampiran 5. Perhitungan Parameter TSS Limbah Cair Domestik

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai TSS adalah:

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

dengan A adalah berat residu kering ditambah kertas saring dan B adalah berat dari kertas saring (mg).

5.1 Sampel limbah cair domestik sebelum dilakukan perlakuan

1) Variasi HLR

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}} \\ &= \frac{(0,1896 - 0,1641) \times 1000}{0,1} \\ &= 255 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

2) Variasi HRT

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}} \\ &= \frac{(0,1867 - 0,1641) \times 1000}{0,1} \\ &= 226 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

5.2 Limbah cair domestik setelah perlakuan dengan variasi HLR

1) Sedimentasi

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}} \\ &= \frac{(0,1848 - 0,1641) \times 1000}{0,1} \\ &= 207 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

2) HLR dengan variasi 23,80 L/m²/jam

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}} \\ &= \frac{(0,1824 - 0,1641) \times 1000}{0,1} \\ &= 183 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

3) HLR dengan variasi 7,14 L/m²/jam

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1706 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 65 \text{ mg/L}$$

4) HLR dengan variasi 3,40 L/m²/jam

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1666 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 25 \text{ mg/L}$$

5.3 Limbah cair domestik setelah perlakuan dengan variasi HRT

1) Reaktor kontrol

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1848 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 207 \text{ mg/L}$$

2) HRT dengan variasi 4 jam

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1841 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 200 \text{ mg/L}$$

3) HRT dengan variasi 6 jam

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1837 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 196 \text{ mg/L}$$

4) HRT dengan variasi 8 jam

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1791 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 150 \text{ mg/L}$$

5) HRT dengan variasi 10 jam

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1778 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 137 \text{ mg/L}$$

6) HRT dengan variasi 12 jam

$$\text{TSS mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (mL)}}$$

$$= \frac{(0,1668 - 0,1641) \times 1000}{0,1}$$

$$= 87 \text{ mg/L}$$



Lampiran 6. Tabel MPN seri 3 tabung

TABEL MPN 333 MENURUT FORMULA THOMAS

Jumlah Tabung (+) Gas pada Penanaman			Indeks MPN per 100 ml
3 x 10 ml	3 x 1 ml	3 x 0,1 ml	
0	0	0	0
0	0	1	3
0	0	2	6
0	0	3	9
0	1	0	3
0	1	1	6
0	1	2	9
0	1	3	12
0	2	0	6
0	2	1	9
0	2	2	12
0	2	3	16
0	3	0	9
0	3	1	13
0	3	2	16
0	3	3	19
1	0	0	4
1	0	1	7
1	0	2	11
1	0	3	14
1	1	0	7
1	1	1	11
1	1	2	15
1	1	3	18
1	2	0	11
1	2	1	15
1	2	2	19
1	2	3	23
1	3	0	15
1	3	1	19
1	3	2	23
1	3	3	27
2	0	0	10
2	0	1	14
2	0	2	19

Jumlah Tabung (+) Gas pada Penanaman			Indeks MPN per 100 ml
3 x 10 ml	3 x 1 ml	3 x 0,1 ml	
2	0	3	24
2	1	0	15
2	1	1	20
2	1	2	25
2	1	3	30
2	2	0	21
2	2	1	26
2	2	2	31
2	2	3	37
2	3	0	27
2	3	1	33
2	3	2	38
2	3	3	44
3	0	0	29
3	0	1	39
3	0	2	49
3	0	3	60
3	1	0	46
3	1	1	58
3	1	2	72
3	1	3	86
3	2	0	76
3	2	1	95
3	2	2	116
3	2	3	139
3	3	0	190
3	3	1	271
3	3	2	438
3	3	3	≥1898

Lampiran 7. Perhitungan Total Koliform Limbah Cair Domestik

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai total koliform adalah:

$$\text{Nilai MPN} = \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}}$$

7.1 Limbah cair domestik dengan variasi HLR

1) Sebelum diolah = 3 : 3 : 3

$$\begin{aligned} \text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= \geq 1898 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= \geq 189800 \text{ MPN/100mL} \end{aligned}$$

2) Sedimentasi = 3 : 3 : 2

$$\begin{aligned} \text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 438 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 43800 \text{ MPN/100mL} \end{aligned}$$

3) HLR dengan variasi 23,80 L/m²/jam = 3 : 2 : 3

$$\begin{aligned} \text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 139 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 13900 \text{ MPN/100mL} \end{aligned}$$

4) HLR dengan variasi 7,14 L/m²/jam = 2 : 2 : 1

$$\begin{aligned} \text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 26 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 2600 \text{ MPN/100mL} \end{aligned}$$

5) HLR dengan variasi 3,40 L/m²/jam = 0 : 1 : 1

$$\begin{aligned} \text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 6 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 600 \text{ MPN/100mL} \end{aligned}$$

7.2 Limbah cair domestik dengan variasi HRT

1) Sebelum diolah = 3 : 2 : 2

$$\begin{aligned}\text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 116 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 11600 \text{ MPN/100mL}\end{aligned}$$

2) Reaktor kontrol = 3 : 2 : 2

$$\begin{aligned}\text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 116 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 11600 \text{ MPN/100mL}\end{aligned}$$

3) HRT dengan variasi 4 jam = 2 : 2 : 2

$$\begin{aligned}\text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 31 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 3100 \text{ MPN/100mL}\end{aligned}$$

4) HRT dengan variasi 6 jam = 2 : 2 : 2

$$\begin{aligned}\text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 31 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 3100 \text{ MPN/100mL}\end{aligned}$$

5) HRT dengan variasi 8 jam = 1 : 3 : 3

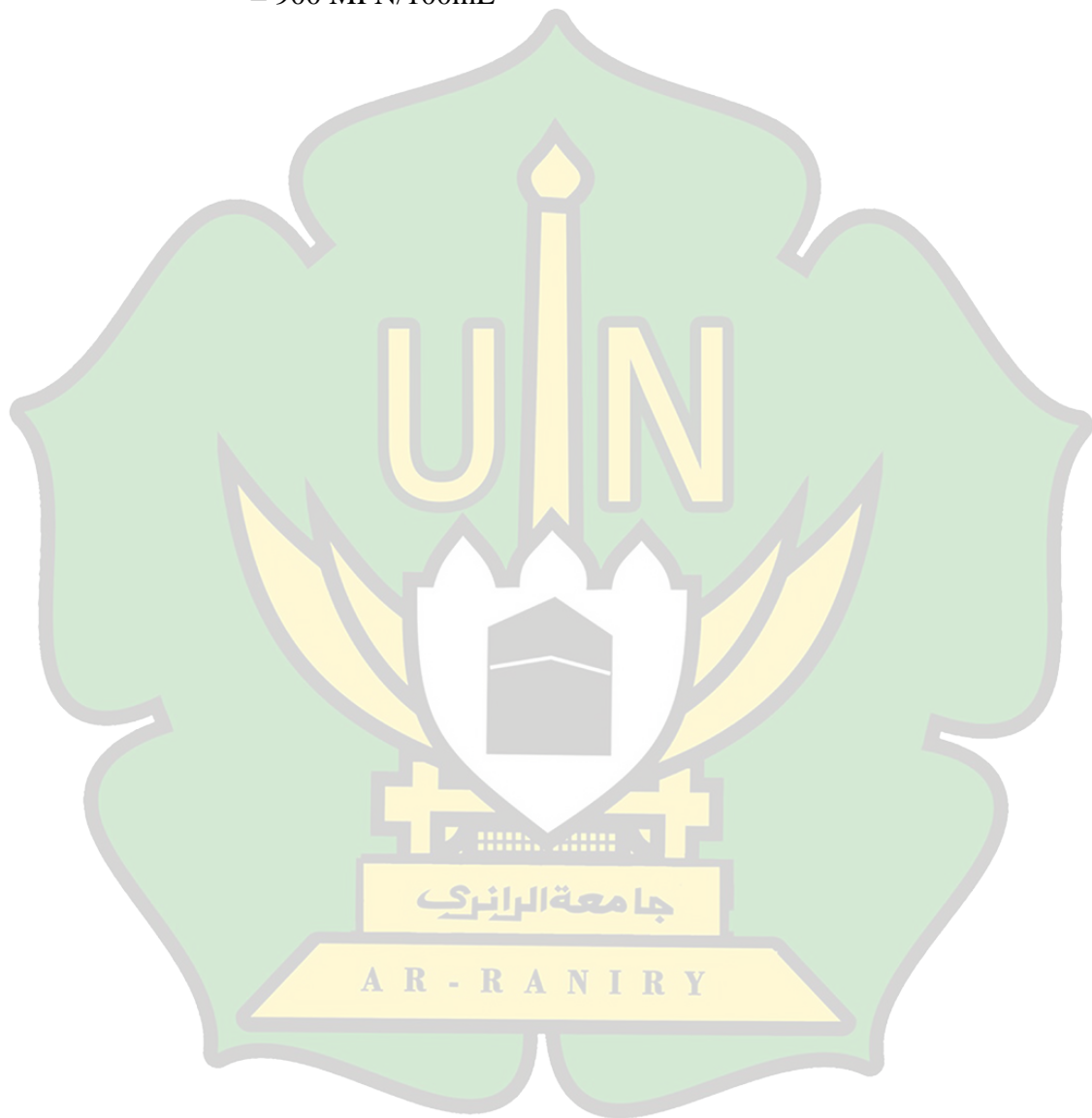
$$\begin{aligned}\text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 27 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 2700 \text{ MPN/100mL}\end{aligned}$$

6) HRT dengan variasi 10 jam = 2 : 2 : 0

$$\begin{aligned}\text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 21 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 2100 \text{ MPN/100mL}\end{aligned}$$

7) HRT dengan variasi 12 jam = 0 : 2 : 1

$$\begin{aligned}\text{Nilai MPN} &= \text{Nilai tabel MPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}} \\ &= 9 \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 900 \text{ MPN/100mL}\end{aligned}$$



Lampiran 8. Perhitungan Total Koloni Limbah Cair Domestik

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai total koloni adalah:

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

8.1 Limbah cair domestik dengan variasi HLR

1) Sebelum diolah

$$\text{a. } \text{BD } 10^{-3} = \frac{180 + 101 + 123}{3} = 135 \text{ koloni}$$

$$\text{b. } \text{BD } 10^{-4} = \frac{186 + 85 + 93}{3} = 121 \text{ koloni}$$

$$\text{c. } \text{BD } 10^{-5} = \frac{269 + 153 + 72}{3} = 165 \text{ koloni}$$

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(135 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(121 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(165 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(135 \times 10^3) + (121 \times 10^4) + (165 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{135.000 + 1.210.000 + 16.500.000}{3}$$

$$= 5.948.000 \text{ CFU/mL}$$

2) Sedimentasi

$$\text{a. } \text{SD } 10^{-3} = \frac{137 + 86 + 138}{3} = 120 \text{ koloni}$$

$$\text{b. } \text{SD } 10^{-4} = \frac{119 + 105 + 79}{3} = 101 \text{ koloni}$$

$$\text{c. } \text{SD } 10^{-5} = \frac{142 + 93 + 122}{3} = 119 \text{ koloni}$$

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(120 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(101 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(119 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(120 \times 10^3) + (101 \times 10^4) + (119 \times 10^5)}{3} \\
 &= \frac{120.000 + 1.010.000 + 11.900.000}{3} \\
 &= 4.343.333 \text{ CFU/mL}
 \end{aligned}$$

3) HLR dengan variasi 23,80 L/m²/jam

a. $HLR_1 10^{-3} = \frac{58 + 72 + 81}{3} = 70$ koloni

b. $HLR_1 10^{-4} = \frac{36 + 47 + 66}{3} = 50$ koloni

c. $HLR_1 10^{-5} = \frac{55 + 28 + 19}{3} = 34$ koloni

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(70 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(50 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(34 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(70 \times 10^3) + (50 \times 10^4) + (34 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{70.000 + 500.000 + 3.400.000}{3}$$

$$= 1.323.333 \text{ CFU/mL}$$

4) HLR dengan variasi 7,14 L/m²/jam

a. $HLR_2 10^{-3} = \frac{13 + 7 + 6}{3} = 9$ koloni

b. $HLR_2 10^{-4} = \frac{5 + 24 + 13}{3} = 14$ koloni

c. $HLR_2 10^{-5} = \frac{9 + 8 + 27}{3} = 15$ koloni

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(9 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(14 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(15 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(9 \times 10^3) + (14 \times 10^4) + (15 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{9.000 + 140.000 + 1.500.000}{3}$$

$$= 550.666 \text{ CFU/mL}$$

5) HLR dengan variasi 3,40 L/m²/jam

a. $HLR_3 10^{-3} = \frac{0 + 2 + 5}{3} = 3 \text{ koloni}$

b. $HLR_3 10^{-4} = \frac{6 + 7 + 13}{3} = 8 \text{ koloni}$

c. $HLR_3 10^{-5} = \frac{9 + 14 + 7}{3} = 10 \text{ koloni}$

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(3 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(8 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(10 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(3 \times 10^3) + (8 \times 10^4) + (10 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{3.000 + 80.000 + 1.000.000}{3}$$

$$= 361.000 \text{ CFU/mL}$$

جامعة الرانري

AR - RANIRY

8.2 Limbah cair domestik dengan variasi HRT

1) Sebelum diolah

$$\text{a. } \text{BD } 10^{-3} = \frac{122 + 118 + 136 + 113}{4} = 122 \text{ koloni}$$

$$\text{b. } \text{BD } 10^{-4} = \frac{98 + 66 + 127 + 116}{4} = 102 \text{ koloni}$$

$$\text{c. } \text{BD } 10^{-5} = \frac{12 + 11 + 238 + 283}{4} = 136 \text{ koloni}$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} &= \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}} \\ &= \frac{\left(122 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(102 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(136 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3} \\ &= \frac{(122 \times 10^3) + (102 \times 10^4) + (136 \times 10^5)}{3} \\ &= \frac{122.000 + 1.020.000 + 13.600.000}{3} \\ &= 4.914.000 \text{ CFU/mL} \end{aligned}$$

2) Reaktor kontrol

$$\text{a. } \text{RK } 10^{-3} = \frac{54 + 27 + 24 + 41}{4} = 37 \text{ koloni}$$

$$\text{b. } \text{RK } 10^{-4} = \frac{12 + 42 + 17 + 70}{4} = 35 \text{ koloni}$$

$$\text{c. } \text{RK } 10^{-5} = \frac{55 + 92 + 52 + 87}{4} = 72 \text{ koloni}$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} &= \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}} \\ &= \frac{\left(37 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(35 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(72 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3} \\ &= \frac{(37 \times 10^3) + (35 \times 10^4) + (72 \times 10^5)}{3} \\ &= \frac{370.000 + 350.000 + 7.200.000}{3} \\ &= 2.529.000 \text{ CFU/mL} \end{aligned}$$

3) HRT dengan variasi 4 jam

$$a. \quad 4j \ 10^{-3} = \frac{68 + 13 + 20 + 38}{4} = 35 \text{ koloni}$$

$$b. \quad 4j \ 10^{-4} = \frac{54 + 30 + 24 + 11}{4} = 30 \text{ koloni}$$

$$c. \quad 4j \ 10^{-5} = \frac{38 + 11 + 23 + 14}{4} = 22 \text{ koloni}$$

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(35 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(30 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(22 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(35 \times 10^3) + (30 \times 10^4) + (22 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{35.000 + 300.000 + 2.200.000}{3}$$

$$= 845.000 \text{ CFU/mL}$$

4) HRT dengan variasi 6 jam

$$a. \quad 6j \ 10^{-3} = \frac{5 + 2 + 9 + 11}{4} = 7 \text{ koloni}$$

$$b. \quad 6j \ 10^{-4} = \frac{8 + 10 + 4 + 9}{4} = 8 \text{ koloni}$$

$$c. \quad 6j \ 10^{-5} = \frac{13 + 24 + 2 + 13}{4} = 13 \text{ koloni}$$

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(7 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(8 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(13 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(7 \times 10^3) + (8 \times 10^4) + (13 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{7.000 + 80.000 + 1.300.000}{3}$$

$$= 462.333 \text{ CFU/mL}$$

5) HRT dengan variasi 8 jam

$$a. \quad 8j \ 10^{-3} = \frac{4+1+8+10}{4} = 6 \text{ koloni}$$

$$b. \quad 8j \ 10^{-4} = \frac{7+9+3+8}{4} = 27 \text{ koloni}$$

$$c. \quad 8j \ 10^{-5} = \frac{10+21+2+10}{4} = 11 \text{ koloni}$$

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(6 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(27 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(11 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(6 \times 10^3) + (27 \times 10^4) + (11 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{6.000 + 270.000 + 1.100.000}{3}$$

$$= 458.666 \text{ CFU/mL}$$

6) HRT dengan variasi 10 jam

$$a. \quad 10j \ 10^{-3} = \frac{4+2+7+8}{4} = 5 \text{ koloni}$$

$$b. \quad 10j \ 10^{-4} = \frac{1+6+3+3}{4} = 3 \text{ koloni}$$

$$c. \quad 10j \ 10^{-5} = \frac{14+6+12+10}{4} = 11 \text{ koloni}$$

$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(5 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(3 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(11 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(5 \times 10^3) + (3 \times 10^4) + (11 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{5.000 + 30.000 + 1.100.000}{3}$$

$$= 378.333 \text{ CFU/mL}$$

7) HRT dengan variasi 12 jam

$$\text{a. } 12j \cdot 10^{-3} = \frac{2+7+6+7}{4} = 6 \text{ koloni}$$

$$\text{b. } 12j \cdot 10^{-4} = \frac{0+5+2+2}{4} = 2 \text{ koloni}$$

$$\text{c. } 12j \cdot 10^{-5} = \frac{13+5+11+9}{4} = 9 \text{ koloni}$$

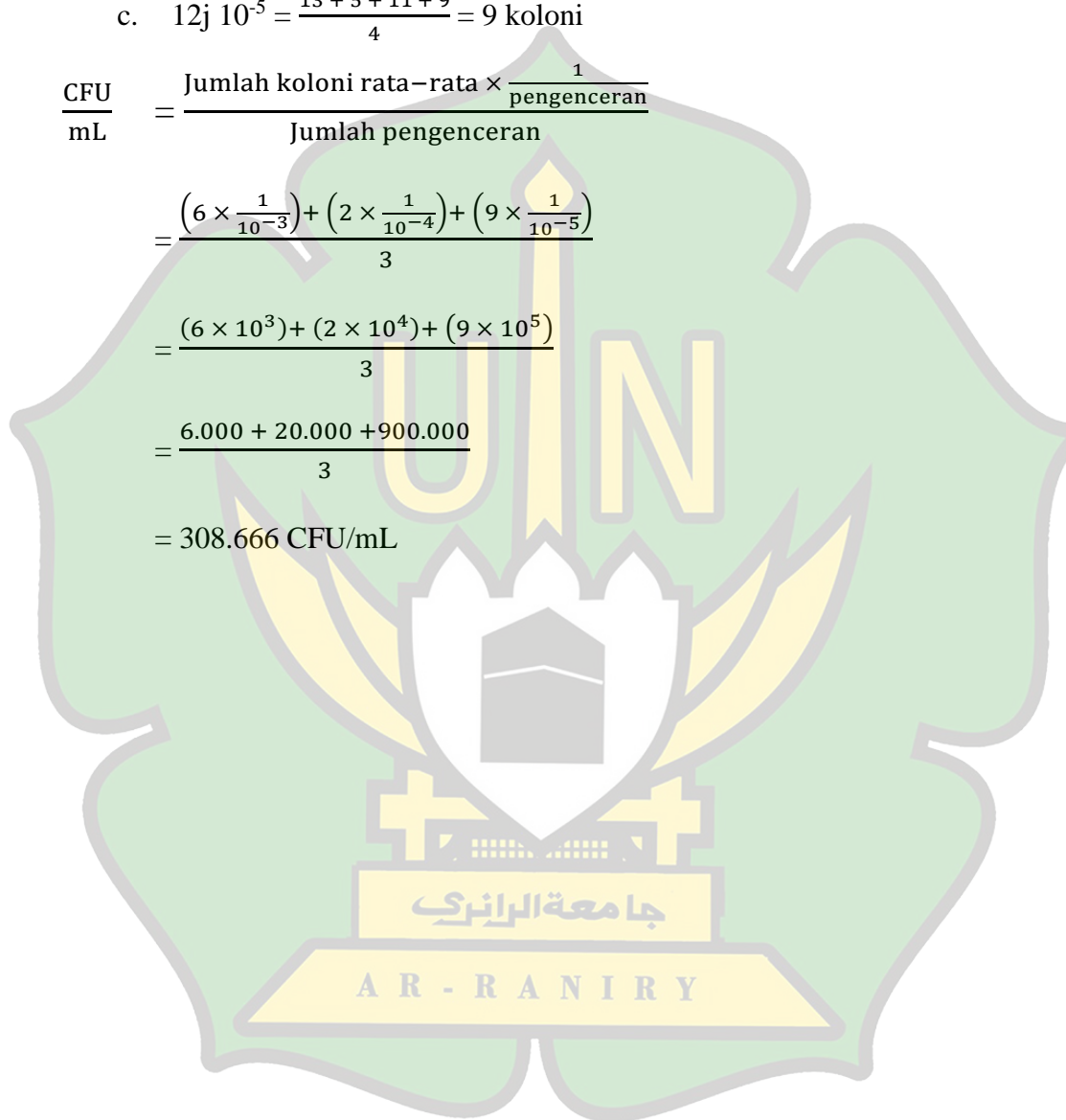
$$\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \frac{\text{Jumlah koloni rata-rata} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}}{\text{Jumlah pengenceran}}$$

$$= \frac{\left(6 \times \frac{1}{10^{-3}}\right) + \left(2 \times \frac{1}{10^{-4}}\right) + \left(9 \times \frac{1}{10^{-5}}\right)}{3}$$

$$= \frac{(6 \times 10^3) + (2 \times 10^4) + (9 \times 10^5)}{3}$$

$$= \frac{6.000 + 20.000 + 900.000}{3}$$

$$= 308.666 \text{ CFU/mL}$$



Lampiran 9. Perhitungan Efektivitas Penurunan Parameter

9.1 Efektivitas penurunan dengan variasi HLR

1) Efektivitas COD terhadap MSL

a. Perlakuan pada variasi HLR 23,80 L/m²/jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(3886-228)}{3886} \\ &= 94,0\% \end{aligned}$$

b. Perlakuan pada variasi HLR 7,14 L/m²/jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(3886-110)}{3886} \\ &= 97,0\% \end{aligned}$$

c. Perlakuan pada variasi HLR 3,40 L/m²/jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(3886-53)}{3886} \\ &= 98,6\% \end{aligned}$$

2) Efektivitas TSS terhadap MSL

a. Perlakuan pada variasi HLR 23,80 L/m²/jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(255-183)}{255} \\ &= 28,0\% \end{aligned}$$

b. Perlakuan pada variasi HLR 7,14 L/m²/jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(255-65)}{255} \\ &= 75,0\% \end{aligned}$$

c. Perlakuan pada variasi HLR 3,40 L/m²/jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(3886-53)}{3886} \end{aligned}$$

$$= 98,6\%$$

9.2 Efektivitas penurunan dengan variasi HRT

1) Efektivitas COD terhadap MSL

a. Perlakuan pada reaktor kontrol

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(15000-11537)}{15000} \\ &= 23,0\% \end{aligned}$$

b. Perlakuan pada variasi HRT 4 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(15000-2153)}{15000} \\ &= 86,0\% \end{aligned}$$

c. Perlakuan pada variasi HRT 6 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(15000-671)}{15000} \\ &= 95,5\% \end{aligned}$$

d. Perlakuan pada variasi HRT 8 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(15000-344)}{15000} \\ &= 97,7\% \end{aligned}$$

e. Perlakuan pada variasi HRT 10 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(15000-159)}{15000} \\ &= 98,9\% \end{aligned}$$

f. Perlakuan pada variasi HRT 12 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(15000-92)}{15000} \end{aligned}$$

$$= 99,0\%$$

2) Efektivitas TSS terhadap MSL

a. Perlakuan pada reaktor kontrol

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(266-207)}{266} \\ &= 22\% \end{aligned}$$

b. Perlakuan pada variasi HRT 4 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(266-200)}{266} \\ &= 25\% \end{aligned}$$

c. Perlakuan pada variasi HRT 6 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(266-196)}{266} \\ &= 26\% \end{aligned}$$

d. Perlakuan pada variasi HRT 8 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(266-150)}{266} \\ &= 44\% \end{aligned}$$

e. Perlakuan pada variasi HRT 10 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(266-137)}{266} \\ &= 49\% \end{aligned}$$

f. Perlakuan pada variasi HRT 12 jam

$$\begin{aligned} \% \text{ Efektivitas} &= \frac{(a-b)}{a} \times 100 \\ &= \frac{(266-87)}{266} \\ &= 67\% \end{aligned}$$

Lampiran 10. Hasil Uji Regresi Linier

10.1 Hasil uji regresi linier dengan variasi HLR

1) Regression HLR terhadap total koliform

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Variasi HLR ($\ell/m^2/jam$) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Total Koliform			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.998 ^a	.995	.991	.755
a. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($\ell/m^2/jam$)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	121.430	1	121.430	213.122	.044 ^b
	Residual	.570	1	.570		
	Total	122.000	2			
a. Dependent Variable: Total Koliform						
b. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($\ell/m^2/jam$)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2.547	.676		-3.766	.165
	X	.686	.047	.998	14.599	.044
a. Dependent Variable: Y						

2) Regression HLR terhadap total koloni

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Variasi HLR ($l/m^2/jam$) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Total Koloni			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.998 ^a	.997	.993	.431
a. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($l/m^2/jam$)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	55.814	1	55.814	300.000	.037 ^b
	Residual	.186	1	.186		
	Total	56.000	2			
a. Dependent Variable: Total Koloni						
b. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($l/m^2/jam$)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.884	.386		4.876	.129
	Variasi HLR ($l/m^2/jam$)	.465	.027	.998	17.321	.037
a. Dependent Variable: Total Koloni						

3) Regression HLR terhadap COD

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Variasi HLR ($l/m^2/jam$) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: COD			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.997 ^a	.994	.989	8.806
a. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($l/m^2/jam$)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13923.123	1	13923.123	179.553	.047 ^b
	Residual	77.543	1	77.543		
	Total	14000.667	2			
a. Dependent Variable: COD						
b. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($l/m^2/jam$)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	48.394	8.302		5.829	.108
	Variasi HLR ($l/m^2/jam$)	7.683	.573	.997	13.400	.047
a. Dependent Variable: COD						

4) Regression HLR terhadap TSS

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Variasi HLR ($l/m^2/jam$) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: TSS			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.997 ^a	.995	.989	8.461
a. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($l/m^2/jam$)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13424.415	1	13424.415	187.531	.046 ^b
	Residual	71.585	1	71.585		
	Total	13496.000	2			
a. Dependent Variable: TSS						
b. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($l/m^2/jam$)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.650	7.976		.583	.664
	Variasi HLR ($l/m^2/jam$)	7.544	.551	.997	13.694	.046
a. Dependent Variable: TSS						

5) Regression HLR terhadap pH

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Variasi HLR ($\text{l/m}^2/\text{jam}$) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: pH			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000 ^a	1.000	1.000	.004
a. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($\text{l/m}^2/\text{jam}$)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4.127	1	4.127	280704.037	.001 ^b
	Residual	.000	1	.000		
	Total	4.127	2			
a. Dependent Variable: pH						
b. Predictors: (Constant), Variasi HLR ($\text{l/m}^2/\text{jam}$)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	6.853	.004		1895.812	.000
	Variasi HLR ($\text{l/m}^2/\text{jam}$)	.132	.000	1.000	529.815	.001
a. Dependent Variable: pH						

10.2 Hasil uji regresi linier dengan variasi HRT

1) Regression HRT terhadap total koliform

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (jam) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Total Koliform			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.925 ^a	.856	.808	.04050
a. Predictors: (Constant), Waktu (jam)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.029	1	.029	17.780	.024 ^b
	Residual	.005	3	.002		
	Total	.034	4			
a. Dependent Variable: Total Koliform						
b. Predictors: (Constant), Waktu (jam)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.454	.054		8.356	.004
	Waktu (jam)	-.027	.006	-.925	-4.217	.024
a. Dependent Variable: Total Koliform						

2) Regression HRT terhadap total koloni

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (jam) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Total Koloni			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.882 ^a	.778	.704	1.14553
a. Predictors: (Constant), Waktu (jam)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13.806	1	13.806	10.521	.048 ^b
	Residual	3.937	3	1.312		
	Total	17.743	4			
a. Dependent Variable: Total Koloni						
b. Predictors: (Constant), Waktu (jam)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	9.570	1.537		6.227	.008
	Waktu (jam)	-.587	.181	-.882	-3.244	.048
a. Dependent Variable: Total Koloni						

3) Regression HRT terhadap COD

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (jam) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: COD			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.880 ^a	.774	.699	467.786
a. Predictors: (Constant), Waktu (jam)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2246760.000	1	2246760.000	10.267	.049 ^b
	Residual	656470.000	3	218823.333		
	Total	2903230.000	4			
a. Dependent Variable: COD						
b. Predictors: (Constant), Waktu (jam)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2609.000	627.600		4.157	.025
	Waktu (jam)	-237.000	73.963	-.880	-3.204	.049
a. Dependent Variable: COD						

4) Regression HRT terhadap TSS

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (jam) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: TSS			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.956 ^a	.914	.893	21.759
a. Predictors: (Constant), Waktu (jam)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	20221.096	1	20221.096	42.712	.003 ^b
	Residual	1893.737	4	473.434		
	Total	22114.833	5			
a. Dependent Variable: TSS						
b. Predictors: (Constant), Waktu (jam)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	228.132	17.074		13.361	.000
	Waktu (jam)	-8.934	1.367	-.956	-6.535	.003
a. Dependent Variable: TSS						

5) Regression HRT terhadap pH

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (jam) ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: pH			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.976 ^a	.953	.937	.2153
a. Predictors: (Constant), Waktu (jam)				

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.809	1	2.809	60.626	.004 ^b
	Residual	.139	3	.046		
	Total	2.948	4			
a. Dependent Variable: pH						
b. Predictors: (Constant), Waktu (jam)						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	10.640	.289		36.843	.000
	Waktu (jam)	-.265	.034	-.976	-7.786	.004
a. Dependent Variable: pH						